



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
INGENIERIA GEOLÓGICA**

**Trabajo monográfico para optar al Título de Ingeniero
Geólogo.**

TEMA

**“ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CARRETERA NN-4
EN EL TRAMO SAN LUCAS-LAS SABANAS KM 233-235, DEPARTAMENTO DE
MADRIZ”.**

PRESENTADO POR:

Br. Rixis Mabeli Cuevas Videa.

Br. Raysa Elieth Martínez Miranda.

TUTOR:

MSc. Gema Velásquez

ASESOR

MSc. Horacio Ulloa

Febrero, 2019

DEDICATORIA

Raysa Martínez Miranda

Les dedico este trabajo monográfico a:

DIOS: por estar siempre presente en mi vida, por sus múltiples favores y su misericordia. Cada prueba puesta en mi camino en vez de ser una derrota ha sido una bendición puesto que Tú has sido mi sostén. Gracias Dios por ayudarme a culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres: Rafael Martínez y Manuela Miranda por su apoyo incondicional en estos años de estudio. En especial a mi madre que ha sido un pilar fundamental de perseverancia y dedicación en mi vida.

A personas especiales: Amanda Morales, Nerys Ramos y Arnulfo Blandón que han sido ejemplos de vida, esfuerzo, dedicación y conocimientos que me han llevado a ser una mejor persona y a lograr cada meta propuesta.

AGRADECIMIENTO

Raysa Martínez Miranda

A mi **familia** por ser soporte, ejemplo y guía de vida.

A **Carlos Josué Moradel** por estar conmigo en toda esta etapa de mi vida con su apoyo, amor, cariño y su tiempo.

A mi compañera, amiga, y colega **Rixis Cuevas** por ser una excelente dupla de trabajo. Gracias por el tiempo compartido en este proceso y siempre sacar un mejor potencial de mi parte para este trabajo.

A nuestra **Tutora Msc. Gema Velásquez** por su apoyo incondicional en todo tiempo. Por sus enseñanzas y sabios consejos.

A nuestro **asesor Msc. Horacio Ulloa** por su apoyo y atención a este trabajo.

A mis amigas **Andrea Áreas, Mildred Alvarado, Paola A. Mendoza y Johana Mendoza** gracias por siempre tener una palabra de aliento en los momentos difíciles así como en los buenos. También a **Greyci Aldana y Alejandra Amaya** por su apoyo.

A **Dorwin Altamirano** por su tiempo y disposición para la realización de nuestro trabajo de laboratorio así como al Departamento de construcción por brindarnos la oportunidad de terminar ese proceso.

Al ingeniero geólogo **Cesar Aguilera** por su invaluable ayuda en la utilización del Software Slide.

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

Rixis Cuevas Videa

Agradezco enormemente a **Dios** nuestro señor por acompañarme en cada momento de mi vida en especial en este arduo trayecto, por darme sabiduría, paciencia para ejecutar cada parte de este logro, sin el nada hubiese sido posible.

A **mi madre** la persona más importante de mi vida, a quien le debo todo y por quien ha sido posible alcanzar esta meta.

Con mucho amor agradezco a mi hermano **Alfonso Cuevas** y su esposa **Cinthya Saballos** por haberme acogido en el seno de su familia durante mi estadía universitaria, por enseñarme los valores del respeto y perseverancia, por sus consejos y toda la confianza depositada en mí. De igual manera agradezco a mis sobrinos **Aldrin** y **Andrea** quienes fueron mis compañeros, hermanos, confidentes.

A mi hermana, mejor amiga y sobrina **Noelia** por confiar en mí siempre, por alentarme a lograr mis sueños por ver siempre en mí un ejemplo. A mi mejor amigo **José Andrés** por creer a diario en mí y decirme que iba a lograrlo, a mis amigas y colegas: **Alejandra y Greyci** por sus ánimos y consejos.

A mi compañera de trabajo, amiga, colega **Raysa Martinez** con quien aprendí a convivir a diario y quien estuvo siempre en todos los buenos y malos momentos.

Me siento infinitamente agradecida con la **MSc. Gema Velásquez** por todo su apoyo, el tiempo dedicado para nosotras por no dejarnos solas en cada momento.

A **Dorwin Altamirano** técnico del laboratorio de suelos del RURMA (Recinto universitario Ricardo Morales Avilés) quien nos brindó su tiempo y conocimiento en la realización de nuestras pruebas de laboratorio.

A **Cesar Aguilera** por compartirnos sus conocimientos de Ingeniería Geológica los cuales fueron de gran ayuda en nuestro trabajo.

Y a todas esas personas que fueron parte de mi vida en estos últimos meses que me ayudaron de una u otra manera, Gracias infinitas.

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en el análisis de la inestabilidad de ladera de un tramo de la carretera NN-4 localizado entre los municipio de San Lucas y Las Sabanas en el departamento de Madriz. El objetivo principal fue realizar el análisis de la ladera en base a las condiciones geológicas y geotécnicas presentes, en la etapa de campo se determinó que la litología, la meteorización, el fracturamiento de las rocas, la topografía, pendiente y la precipitación que es el factor detonante en la inestabilidad de ladera en el sitio de estudio.

Las condiciones geotécnicas se evaluaron mediante el análisis de los parámetros físico-mecánicos de las muestras recolectadas en campo, estos parámetros fueron obtenidos mediante los análisis realizados en el laboratorio de mecánica de suelos, una vez obtenidos estos parámetros se empleó el análisis de la inestabilidad de la ladera mediante el Software GeoStudio que permitió modelar la geometría de la ladera y tener simulaciones de las superficies de deslizamientos así como obtener el Factor Seguridad.

Los resultados adquiridos a través de los análisis simultáneos indicaron 2 tipos de movimientos de remoción en masa presente: Traslacionales y caídas de rocas. Además, se determinaron de manera efectiva la inestabilidad de la ladera en el Km 233-235 en el tramo San Lucas-Las Sabanas.

TABLA DE CONTENIDO

I. CAPITULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.1.1 Localización y vías de acceso.....	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3 JUSTIFICACIÓN	6
1.4 OBJETIVOS	7
II. CAPITULO II.....	8
2.1 ANTECEDENTES	8
2.2 Tectónica de América Central y Nicaragua	9
2.3 Geología local	13
2.4 MARCO TEÓRICO	14
2.4.1 Concepto Ladera o Talud	14
2.4.2 Partes de un talud.....	14
2.4.3 Tipología de los movimientos de ladera.....	18
2.4.3.1 Desprendimientos	18
2.4.3.2 Vuelcos	19
2.4.3.3 Deslizamientos.....	20
2.4.3.4 Expansión lateral.....	21
2.4.3.5 Flujos	21
2.4.4 Factores que influyen en la inestabilidad de taludes	23
2.4.5 Análisis de inestabilidad de ladera	23
2.4.5.1 Método de Fellenius	26
2.4.5.2 Método de Bishop modificado	27
2.4.5.3 Método de Janbu simplificado	28
2.4.5.4 Método de Morgenstern- Price.....	29
2.4.5.5 Método de Spencer.....	30
2.4.5.6 Análisis computacional para la estabilidad de taludes	30
2.5 HIPOTESIS	31

III. CAPITULO III	32
3.1 DISEÑO METODOLÓGICO	32
3.1.1 Enfoque de la investigación.....	32
3.1.2 Tipo de estudio	32
3.1.3 Universo y Muestra	32
3.1.4 Materiales y Actividades a realizar	32
3.1.5 Análisis e interpretación	36
IV. CAPITULO IV	48
4.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	48
4.1.1 Análisis Geológico	48
4.1.1.1 Factores desencadenantes y condicionantes de la inestabilidad de la ladera	48
4.1.1.2 Tipos de movimientos de remoción en masa.....	57
4.1.2 Análisis Geotécnico.....	65
4.1.2.1 Análisis Físico-mecánico del suelo.....	65
4.1.2.2 Análisis de inestabilidad mediante el Software GeoStudio.	69
4.1.2.3 Recomendaciones para la estabilización de la ladera	86
V. CAPITULO V.....	92
5.1 CONCLUSIONES	91
5.2 RECOMENDACIONES.....	93
5.3 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS	94
5.4 ANEXOS.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización.....	4
Figura 2. Tectónica regional de América	10
Figura 3. Mapa de Provincias Geológicas	12
Figura 4. Talud a) Artificial b) Natural	15
Figura 5. Nomenclatura de un deslizamiento).....	18
Figura 6. Esquema de un desprendimiento en donde se define.....	19
Figura 7. Esquema de vuelco de una masa rocosa	20
Figura 8. Esquema de deslizamiento rotacional (A) y traslacional (B).....	20
Figura 9. Esquema simplificado de una expansión lateral. subyacente	21
Figura 10. Esquema de una colada fangosa.....	22
Figura 11. Esquema de una corriente de derrubios.	22
Figura 12. Esquema de una raptación superficial	22
Figura 13. Diagrama de cuerpo libre.	26
Figura 14. Mapa de muestreo.	34
Figura 15. Inserción de datos de entrada para correr el programa	46
Figura 16. Inserción de datos de entrada del suelo por el criterio de Mohr Coulomb	46
Figura 17. Resultados de la modelación ejecutada en el programa.....	47
Figura 18. Columna Litológica.....	50
Figura 19. Roseta de Fracturas.	52
Figura 20. Cantidad de precipitación mensual durante el año 2014.....	56
Figura 21. Precipitación máxima mensual.	56
Figura 22. Perfil de ladera no modelado.	71
Figura 23. Modelación perfil 1.1	72
Figura 24. Modelación perfil 1.2	73
Figura 25. Modelación perfil 1.3	73
Figura 26. Modelación perfil 2.1	74
Figura 27. Modelación perfil 2.2	75
Figura 28. Modelación perfil 3.1	76
Figura 29. Modelación perfil 3.2	76

Figura 30. Modelación perfil 3.3	77
Figura 31. Modelación perfil 4.1	78
Figura 32. Modelación perfil 4.2	78
Figura 33. Modelación perfil 4.3	79
Figura 34. Modelación perfil 5.1	80
Figura 35. Modelación perfil 5.2	80
Figura 36. Modelación perfil 6.1	81
Figura 37. Modelación perfil 6.2	82
Figura 38. Modelación perfil 7.1	83
Figura 39. Modelación perfil 7.2	83
Figura 40. Modelación perfil 7.3	84
Figura 41. Modelación perfil 8.1	85
Figura 42. Modelación perfil 8.2	85
Figura 43. Modelación estabilizada punto 1	87
Figura 44. Modelación estabilizada punto 2	87
Figura 45. Modelación estabilizada punto 3	88
Figura 46. Modelación estabilizada punto 4	88
Figura 47. Modelación estabilizada punto 5	89
Figura 48. Modelación estabilizada punto 6	89
Figura 49. Modelación estabilizada punto 7	90
Figura 50. Modelación estabilizada punto 8	90

INDICE DE FOTOS

Foto 1. Medición de fracturas a lo largo de los cortes de la ladera	35
Foto 2. Medición de direcciones de fracturas.....	35
Foto 3. Levantamiento de dimensiones de los deslizamientos.....	36
Foto 4. a) Proceso de disgregado de la muestra	37
Foto 5. a) Lavado constante de material.....	38
Foto 6. Proceso de cribado a través de las mallas de diferentes diámetros	39
Foto 7. a) Toma de peso del matraz más la muestra.....	40
Foto 8. a) Enraze de matraz con placa de vidrio.	40
Foto 9. a) Peso del recipiente	41
Foto 10. a) Colocación de la muestra al horno	42
Foto 11. Se ilustra el proceso previo a la homogenización del material.	43
Foto 12. Copa de Casagrande se rellena con material.....	43
Foto 13. Taras con material sobrante de la copa de CasaGrande.....	44
Foto 14. Inserción de datos de entrada para correr el programa.....	46
Foto 15. Inserción de datos del suelo por el criterio de Mohr Coulomb.	46
Foto 16. Resultados de la modelación ejecutada en el programa.	47
Foto 17. Talud presente en el área de estudio.....	49
Foto 18. Presencia de cristales de cuarzo al ser triturada la roca.	49
Foto 19. Esquema de las fracturas que presenta una distribución paralela	51
Foto 20. Esquema de parte de la ladera con sistemas de fracturas.....	53
Foto 21. Veta de cuarzo relleno una fractura de un corte de la ladera.....	53
Foto 22. Se ilustra en el perfil el movimiento en masa.	58
Foto 23. Se observa el deslizamiento superficial	59
Foto 24. Corte del movimiento de desprendimiento rocoso.	60
Foto 25. En el escarpe se logra observar suelo vegetal en parte superior.	61
Foto 26. El escarpe presenta una combinación de material de fragmentos.....	62
Foto 27. Escarpe principal del movimiento.....	63
Foto 28. Posición de árboles (flechas rojas) nos ayuda a apreciar la inclinación	64
Foto 29. Secciones transversales de la ladera.....	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del lugar de estudio.....	3
Tabla 2. Método más importante para estabilidad de taludes (Abramson & Boyce, 2002). ..	25
Tabla 3. Puntos de estudio.....	57
Tabla 4. Resultados de pruebas de laboratorio para los dos muestras analizada.....	68
Tabla 5. Geometría de las secciones de la ladera	97
Tabla 6. Datos roseta de fractura.	98

I. CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa son aquellos que involucran el movimiento de los materiales formadores de las laderas bajo la influencia de la gravedad (también se les conoce como procesos gravitacionales) y sin la asistencia primordial de algún agente de transporte fluído (Brunsden, 1979). El término procesos de remoción en masa agrupa los diferentes tipos de movimiento de material (llámese rocas, detritos o derrubios, tierra o suelo) que ocurren en las laderas sin importar el mecanismo involucrado. De tal forma que incluye la caída o desprendimiento de materiales, los vuelcos, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y los movimientos complejos, estos últimos resultados de la combinación de dos o más de los anteriores tipos (Alcántara Ayala, 2000).

Son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb & Hrod, 1989). Estos producen cambios a la morfología del terreno, afectaciones ambientales diversos daños en obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueos de ríos, el volumen de daños totales es superior al de los terremotos y las inundaciones.

La importancia del estudio de los procesos de ladera está determinada por el impacto que estos pueden tener en la población ya que la inestabilidad de laderas puede ser producida por la actividad humana al alterar y modificar el equilibrio que existe en la naturaleza, debido a cortes y excavaciones para la construcción de caminos. Sin embargo, un gran porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se implementan medidas de prevención o control (Suárez, 1998).

Nicaragua pertenece a los primeros seis países que presentan las mayores manifestaciones intensivas del riesgo, sea por inundación, sismicidad, Vulcanismo. También forma parte de los países que registran mayores cantidades de daños y pérdidas, asociadas a impactos acumulados espacial y temporalmente por eventos hidrometeorológicos y climáticos, en algunos casos extremos (UNISDR, 2013). En el país los fenómenos de inestabilidad de laderas originados por diversas causas, frecuentemente están provocados por terremotos, erupciones volcánicas, fuertes precipitaciones de lluvia, crecimiento de aguas subterráneas, socavamiento de ríos y excesivo uso de la tierra, como deforestación, erosión, ganadería extensiva y explotaciones inadecuadas del

suelo. En la Carretera Panamericana y sus tramos aledaños son frecuentes (prácticamente cada año) los derrumbes en los taludes de corte y terraplén.

El objetivo principal de este trabajo investigativo fue analizar la inestabilidad de ladera en el tramo de la carretera San Lucas Las Sabanas Km 233-235, el cual se considera que presenta condiciones aptas para desencadenar un movimiento de ladera, la caracterización geológica geotécnica permitió identificar los factores condicionantes y desencadenantes en la ladera así como el modelamiento de esta, y obtener como resultados posibles medidas que sirvan de alternativas para la prevención de futuros desastres.

1.1.1 Localización y vías de acceso

El Departamento de Madriz ocupa un área superficial de 1600 km², conformado por 9 municipios, Somoto, San Lucas, Las Sabanas, San José de Cusmapa, Yalagüina, Palacagüina, Telpaneca, San Juan Del Rio Coco y Totogalpa, su cabecera Departamental es el Municipio de Somoto (MARENA, 2018). Este se encuentra a 216 kilómetros de Managua, Capital de Nicaragua. El área de estudio de ubica en el municipio de Las Sabanas el cual limita al Norte con el municipio de San Lucas, al Sur con el municipio de San José de Cusmapa, al Este con el municipio de Pueblo Nuevo-Estelí y al Oeste con la República de Honduras. El tramo en estudio se encuentra en el kilómetro 233-235.

Su principal vía de acceso es la vía internacional, carretera panamericana Norte Nic-26. Llegando a Somoto, cabecera departamental se abandona la carretera panamericana y se toma la avenida principal que cruza todo el municipio buscando la carretera adoquinada NN-4, que conduce hacia San Lucas- Las Sabanas y San José de Cusmapa, el trayecto tarda por lo menos unos 10-15 minutos (Tabla 1; Figura 1: Mapa de Ubicación).

	Coordenadas	
Puntos	X	Y
1	540970	1472906
2	541025	1478920
3	541125	1478866
4	541217	1478819
5	541255	1478803
6	541265	1478195
7	541270	1478781
8	541294	1478748
9	541302	1478735
10	541305	1478705

Tabla 1. Coordenadas del lugar de estudio.

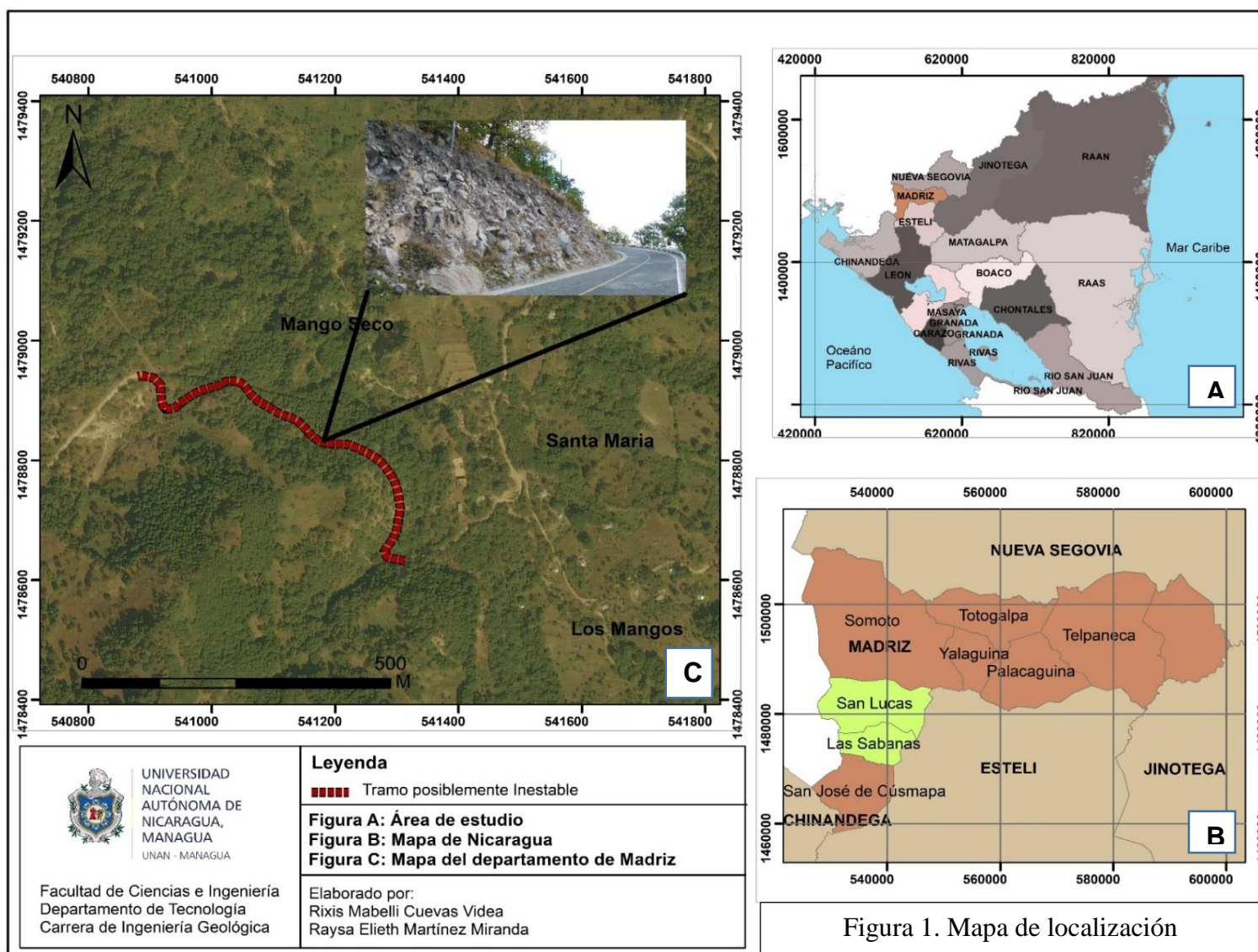


Figura 1. Mapa de localización

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Nicaragua a lo largo de la historia se ha encontrado dentro de los primeros cinco países de América Latina y el Caribe con mayor cantidad de pérdidas de vidas humanas ocasionadas por fenómenos geológicos e hidrometeorológicos los cuales han mostrado escenarios dinámicos en cuanto a exposición y grado de vulnerabilidad, marcando episodios desastrosos como la pérdida de vida de muchos nicaragüenses ; ejemplo de ello es el deslave ocurrido en el volcán Casita el 30 de Octubre de 1998, el cual provoco grandes pérdidas humanas y económicas.

El departamento de Madriz se caracteriza por presentar relieves abruptos y escarpados que son propios de zonas montañosas, existe reciente y clara evidencia que la zona es susceptible a deslizamientos por sus condiciones topográficas, geológicas, climáticas y antropogénicas. El área de estudio se localiza en este departamento, en el tramo de la carretera San Lucas-Las Sabanas km 233-235, la cual se considera como una ladera inestable; a causa del escenario natural que esta presenta junto con la manera inadecuada con que fue ejecutada la construcción de la carretera, que funciona como la principal vía de acceso al Municipio aledaño de San José de Cusmapa y las demás comunidades cercanas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los movimientos de ladera o deslizamientos constituyen un riesgo geológico (Ayala Carcedo & Andreu, 1987) de origen natural o inducido que deben tenerse en cuenta en la planificación del territorio (Santacana, 2001). En países como México los estados gastan millones de pesos en reparar cada año los daños causados por los derrumbes de cortes, los daños ocasionados por estos desastres suelen ser graves, originando grandes pérdidas económicas y humanas (Garnica Anguas & Pérez García, 2012).

La zona de investigación se localiza en la cordillera Central que se encuentra dentro de la clasificación de macroregiones más susceptibles a inestabilidad de ladera en Nicaragua. En la Carretera Panamericana y sus corredores complementarios son frecuentes cada año los derrumbes de Corte y Terraplén, debido a que es necesario alterar la superficie natural de la ladera cambiando así los esfuerzos y las propiedades físico-mecánicas del material que lo conforman, a esto se le suman factores antropogénicos como los malos hábitos de excavación y vibraciones producidas por vehículos generan un peligro latente para la vía carretera.

Además, el área se encuentra dentro del propuesto proyecto de desarrollo turístico, social, cultural y educativo Geo Parque Río Coco, el cual beneficiará a la población del municipio y zonas aledañas, siendo la principal vía de acceso para lo antes mencionado, lo que implica que la realización de este estudio hará un aporte en la caracterización geológica-geotécnica del área para tomar medidas de prevención y mitigación ante desastres de inestabilidad y evitar grandes pérdidas económicas y humanas.

La importancia de realizar esta investigación se enfocó en la prevención de posibles desastres que con lleve a pérdidas humanas y económicas, de tal modo que se puedan brindar herramientas necesaria a las entidades encargadas de velar por la protección humana de la población, para la toma de medidas inmediatas en la implementación de obras de estabilización de la ladera.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo Principal

Analizar la inestabilidad de ladera en la Carretera NN-4 en el tramo San Lucas-Las Sabanas Km 233-235, Departamento de Madriz.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las condiciones geológicas de la ladera.
- Identificar factores condicionantes y desencadenantes presentes en la ladera en estudio.
- Realizar una descripción de los parámetros físico-mecánicos de la ladera.
- Efectuar el análisis del talud mediante los métodos de equilibrio límite y elementos finitos; logrando obtener el factor de seguridad de la ladera.
- Recomendar medidas preventivas para la estabilización de la ladera.

II. CAPITULO II

2.1 ANTECEDENTES

Por su ubicación geográfica, Nicaragua está sujeta a diversos procesos naturales, que pueden ocasionar desastres especialmente por causas de inestabilidades del terreno debido a la presencia de relieves abruptos, fuertes precipitaciones y actividad sísmica.

A partir de esto diferentes entidades gubernamentales como SINAPRED (Sistema Nacional de prevención, mitigación y atención de desastres naturales), INETER (Instituto Nicaragüense de estudios territoriales) tienen como objetivo realizar investigaciones, estudios para la gestión y prevención de desastres naturales.

En 2001, la Organización de Estados Americanos - Unidad de desarrollo sostenible y Medio Ambiente en conjunto con el MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructuras), realizaron el ‘‘Estudio General sobre los Tramos Vulnerables a los Peligros Naturales de la Carretera Panamericana y sus Corredores Complementarios en Centroamérica en el cual indican que Centroamérica es una de las regiones más vulnerables a los peligros naturales, afectando aspectos de infraestructura económica de la región y por tanto del desarrollo sostenible.

En dicho estudio Analizaron la vulnerabilidad por peligros volcánicos, sísmicos, inundaciones y deslizamientos clasificando la vulnerabilidad por deslizamientos en Nicaragua desde moderada a muy alta en dependencia del tipo de roca, precipitación y pendientes, el área de estudio dentro de las características de nivel alto a muy alto.

INETER en 2004, en conjunto con el servicio geológico Checo al cargo de los investigadores Petr Hradecky & Zdenek Novak elaboraron el informe de ‘‘Investigaciones de los Riesgos Geológicos Naturales en los alrededores de la Ciudad de Somoto’’ con el objetivo de localizar , registrar y documentar los peligros geológicos con propuestas concretas para la protección de personas como resultado generaron un mapa de peligros geológico a escala 1:50,000, localizaron 21 sitios con importante evidencia de inestabilidad de ladera tomando en cuenta condiciones geológicas , geotécnicas e hidrogeológicas.

En continuidad con el estudio de Vulnerabilidad por Riesgos Geológicos INETER en el año 2009 dentro del proyecto Mexicano de cooperación para el desarrollo preparó un informe "Estudio de

mapas de peligro por deslizamiento y derrumbes en la carretera Managua- el Espino" el cual se ejecutó en tres etapas, Tramo Somoto - El Espino, Tramo Yalagüina – Palacagüina y el Tramo Condega – Palacagüina, con el objetivo de reconocer y mostrar condiciones de inestabilidad del terreno capaces de generar movimientos en masas a fin de asegurar el buen estado de la carretera y normar la circulación de los vehículos que la transiten. Se contabilizan entre Somoto y El Espino 10 sitios potenciales (67%) y 5 sitios críticos a desastres (33%) Del total reconocido de movimientos de masas, el 67% es clasificado como Caída de Roca con las siguientes especificaciones de ocurrencia: Pendiente del terreno: 15° a 45°; altura promedio del talud de 25m.

Cruz Roja Nicaragüense en 2012, a través del Programa de Gestión de Riesgos de Desastres ante el Cambio Climático, se dispuso a trabajar en la zona urbana de Las Sabanas, municipio de Madriz y con su población facilitar un proceso de ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES Y CAPACIDADES (AVC), esta es una metodología propia de Cruz Roja y la Media Luna Roja de Holanda, que utiliza varias herramientas para entender el grado de exposición de la población y su capacidad de resiliencia ante distintas amenazas, en la metodología se identificó amenaza por deslizamiento en los alrededores del municipio el cual se clasifica como muy severo.

En el 2013 UNISDR (Naciones Unidas para la reducción del riesgo a desastres) y CEPREDENAC (Centro de coordinación para la prevención de los desastres naturales en América Central) elaboraron el ‘‘Informe de gestión integral del riesgo de desastres’’ en este indican que la amenaza por inestabilidad de laderas en Nicaragua están inmersas dentro de tres micro regiones, La Cordillera Volcánica del Pacífico, Las Cordilleras Centrales y Llanuras Costeras del Atlántico. Caracterizan a las cordilleras centrales microrregión donde se ubica el área de estudio, geológicamente constituidas por formaciones terciarias con intensa meteorización química con un elevado contenido de arcillas, que favorece a los movimientos de ladera superficiales e intermedios, tales como raptación del suelo, erosión en cárcavas (agujeros producidos en rocas y suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia), movimientos mixtos profundos, caídas de rocas y avalanchas rocosas.

2.2 Tectónica de América Central y Nicaragua

Centroamérica se encuentra localizada entre las placas de Norte América y Sur América, involucrada en un movimiento cortical que produce un patrón estructural complicado, entre la

El Bloque Chorotega comprende la parte Sur de Nicaragua y se extiende hasta la parte central de Panamá. El basamento de este bloque es de naturaleza oceánica, constituido por basaltos masivos en almohadillas, gabros, peridotitas y peridotitas-serpentinizadas, se destacan depósitos sedimentarios con abundantes restos de fósiles (Dengo, 1983).

La configuración geológica de Nicaragua se originó aparentemente en el Paleozoico y culminó con la intensa actividad volcánica, del principio del Cuaternario, fue afectada por una serie de fenómenos muy característicos, pero estos no fueron iguales en todas las zonas del país (Hodgson, 2002).

Una de las diversas clasificaciones disponibles para la descripción de las provincias geológicas de acuerdo a sus eventos de formación, fue la propuesta de Hodgson, G., en 1976, (Figura 3):

1) Provincia de la Planicie Costera del Pacífico: En esta provincia se depositaron grandes espesores de rocas sedimentarias intercaladas con materiales volcánicos e intrusiones ígneas. Las edades de estas rocas varían desde el Cretáceo hasta el Terciario Superior.

2) Provincia de la Depresión o Graben de Nicaragua: Está compuesta por rocas volcánicas y sedimentos, de edad Cuaternaria a Reciente. Caracterizado también por presentar fosa de mar profundo, regiones de plataforma, cadenas de arcos de isla activos, terremotos y rasgos tectónicos activos.

3) Provincia del Área Central de Nicaragua: Está caracterizada por el predominio de rocas volcánicas del terciario que se han dividida en dos grandes unidades principales: Grupo Matagalpa y Grupo Coyol. En esta provincia se encuentra el área de estudio.

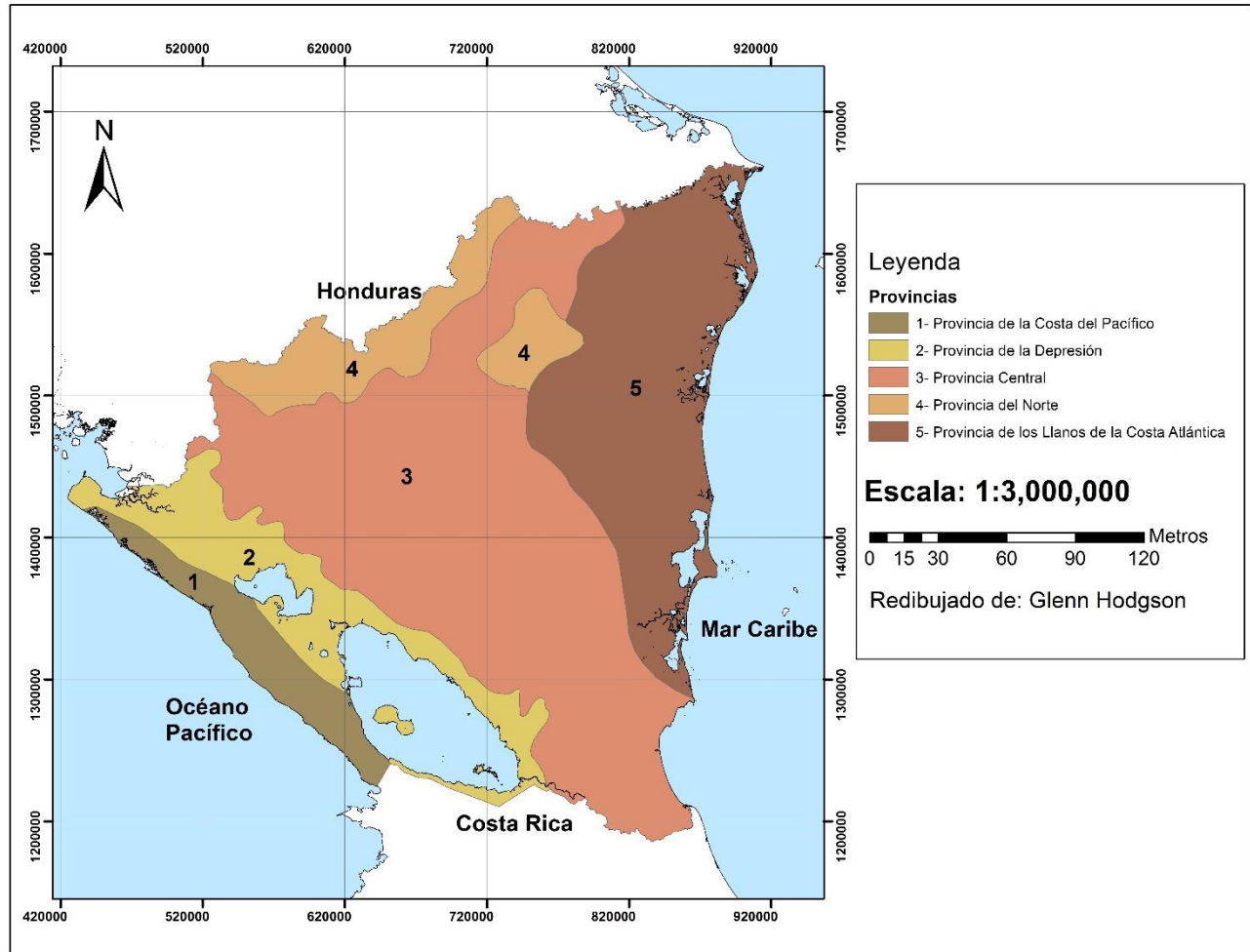


Figura 3. Mapa de Provincias Geológicas (Hodgson, 2002).

4) Provincia del Norte de Nicaragua: Está definida por la abundancia de rocas metamórficas cortadas por intrusivos de composición básica a ácidas y representadas por relieve montañoso de mayor elevación en Nicaragua.

5) Provincia de los Llanos de la Costa Atlántico: Se caracteriza por una geomorfología relativamente baja, parcialmente ondulada y cubierta por depósitos recientes aluvionales con predominios de rocas sedimentarias del pleistoceno.

2.3 Geología local

El área de estudio se localiza dentro de la Provincia Central de Nicaragua, que pertenece a la Provincia Meridional de América Central; que gran parte a su vez está dentro del bloque Chortis y una pequeña porción dentro del bloque Chorotega, grandes volúmenes de rocas volcánicas cubren toda la extensión de esta provincia. El relieve de esta provincia es montañoso moderado y muy variable, en forma de mesas extensas e inclinadas y cuestras con características topográficas predominantes de cordilleras, mesas, serranías, lomas alineadas, cuestras, colinas aisladas y terrenos montañosos quebrados, con pendientes que oscilan de 10 a 85% o más. En general, el relieve dominante es severamente accidentado, como resultado de un sistema de fracturas complejas y densas. La provincia central de Nicaragua está dividida en dos grupos litológicos importantes: Grupo Coyol y Grupo Matagalpa.

El grupo Matagalpa predominan rocas auto brechas andesíticas, piroxénicas, lavas y lahar en bloque. Debido a la porosidad de la roca y la abundancia de lluvia, la meteorización es profunda. Este comienza desde la cordillera Isabelia, donde se manifiestan en grandes bancos de andesitas en una dirección NE. El espesor del conjunto varía conforme el área; en el área central midió más de 1400 m. La edad del grupo se extiende desde el Eoceno superior hasta el Mioceno medio.

El Grupo Coyol abarca la zona de estudio, en este grupo se distingue claramente por presentar centros de estrato-volcanismo, escudo volcanismo y escudo volcanismo riolítico, con la presencia de pocos complejos riolíticos domal. Litológicamente está representado por flujos lávicos de carácter basálticos-andesíticas en su parte basal y en la parte superior por flujos ignimbríticos tobaceos y brechas ignimbríticas parcialmente salificadas. Las Ignimbritas, lavas y tobas intercaladas que fueron depositadas como capas horizontales ligeramente inclinadas, dando origen a las mesetas y cuestras escalonadas, con escarpes verticales constituyendo un rasgo geomorfológico muy característico.

Los horizontes de ignimbritas cuando no están superpuestos por otras rocas, a veces presentan un mosaico de fracturas muy característico. El espesor del grupo es variable pero para las áreas del NE central, se mide un espesor de 1600 m, espesores de formaciones individuales miden desde los 200 hasta mayores a 600 m.

2.4 MARCO TEÓRICO

Marco Conceptual

A lo largo de la historia el hombre ha interactuado con el medio geológico y los riesgos que este representa para su supervivencia, se ha asentado y construido basándose solamente en la experiencia propia sin prever el peligro que podría sobrevenir en función de la estabilidad de taludes en las zonas circundantes, así las viviendas, carreteras, caminos se edifican al pie o en la parte baja de laderas de fuerte pendiente.

Actualmente se considera a los deslizamientos de tierra por inestabilidad de ladera como uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Hrod,1989).

2.4.1 Concepto Ladera o Talud

Según Suarez, 1998, Un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos.

En cuanto a este concepto entendemos por talud a una pendiente inclinada de origen artificial y ladera cuando su aspecto actual es de origen natural.

Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años pueden fallar debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un “deslizamiento” (Suárez, 1998).

2.4.2 Partes de un talud

La nomenclatura de taludes más utilizada en geotecnia, se basa en los sistemas de clasificación propuestos por (Varnes, 1958; Hutchinson,1968 y Varnes, 1978); siendo de los sistemas más utilizados en el mundo.

El talud comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, en la cual ocurren procesos de denudación o erosión, una parte intermedia semidirecta y una parte

baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de depositación (Figura 4) (Suárez, 1998).

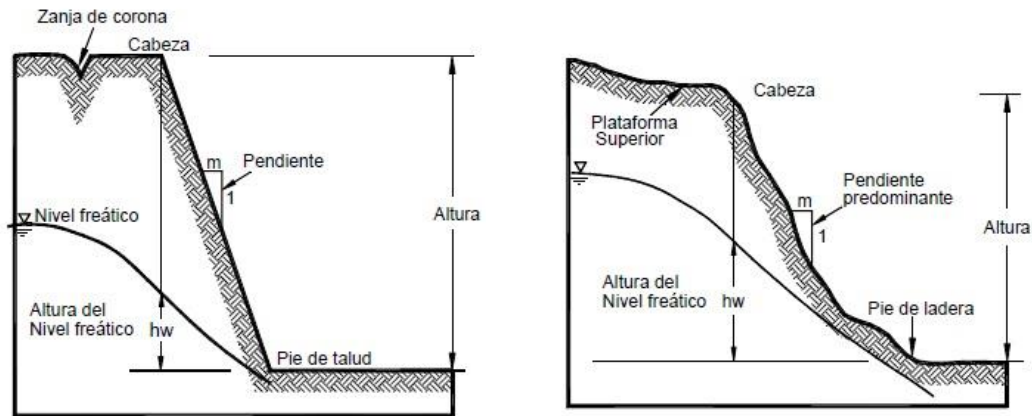


Figura 4. Talud a) Artificial (Suárez, 1998). b) Natural (Suárez, 1998).

En un talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

Pie, pata o base.

El pie corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

Cabeza, cresta, cima o escarpe

Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente hacia abajo de este punto es semi-vertical o de alta pendiente se le denomina “escarpe”. Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza es generalmente convexa.

Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en la Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados.

Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua, la presión en el agua es igual a la presión atmosférica. La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.

Pendiente

Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m: 1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: $45^\circ = 100\% = 1H: 1V$.

Los suelos o rocas más resistentes y duros generalmente forman laderas de mayor pendiente y los materiales de baja resistencia o blandos tienden a formar laderas de baja pendiente.

El termino deslizamiento ha sido definido por diferentes autores “slope movement” (Varnes, 1978) o “landslide” (Sharpe, 1938). Por otra parte (Cruden D. , 1991) lo define como el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente. Otra definición considera. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad (Corominas & Yagüe, 1997).

Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia abajo, mientras otros se mueven hacia arriba. Los fenómenos de inestabilidad incluyen generalmente una combinación de procesos erosionales y denudacionales interrelacionados entre sí y a menudo mezclados.

Las partes que integran un deslizamiento de acuerdo a la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG, 1990), Figura 5 son:

Escarpe Principal. Es la superficie que se encuentra muy inclinada a lo largo de la periferia del área del deslizamiento. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

Escarpe Secundario. Es la superficie inclinada que es producida por los desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se movió.

Hombro. Es la parte superior del material que se movió a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona o Cima. Es el punto más alto del material en el sitio que prácticamente se encuentra inalterado.

Superficie de falla. Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado.

Costado o flanco. Es el lado del movimiento (visto de perfil lateral).

Base. Es el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

Pie de la superficie de falla. Es la línea de intercepción (generalmente tapada), entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

Punta o uña. Es el punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

Superficie original del terreno. Es la superficie que existía antes de presentarse el deslizamiento.

Derecha e izquierda. Se refiere al lado del deslizamiento observado desde la corona, mirando hacia el pie. Generalmente se prefiere usar la orientación geográfica para la descripción del deslizamiento.

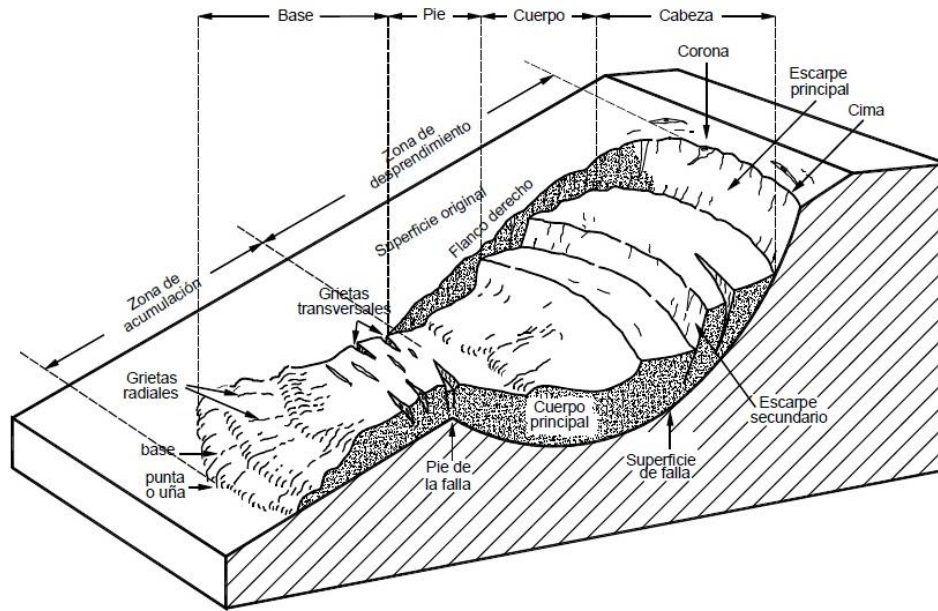


Figura 5. Nomenclatura de un deslizamiento (Suárez, 1998).

2.4.3 Tipología de los movimientos de ladera.

La variedad de fenómenos incluidos como movimientos de ladera (*landslides* en inglés) es grande y su clasificación compleja. Diferentes autores, (Varnes, 1978); (Cruden & Varnes, 1996); (Corominas & Yagüe, 1997) clasifican los movimientos de ladera según el tipo de movimiento y la naturaleza de los materiales inestabilizados (es decir, roca o suelo). El tipo de movimiento se refiere a los mecanismos internos de desplazamiento vertiente abajo de la masa inestabilizada (Highland & Bobrowsky, 2008). La clasificación aplicada a este estudio es la definida por (Varnes, 1978)

2.4.3.1 Desprendimientos

Un desprendimiento (*rockfall* en inglés) es una masa rocosa, o de tierra, que se separa de una vertiente casi vertical y cae libremente a través del aire.

La masa inestabilizada impacta en el terreno fragmentándose en porciones más pequeñas que siguen una trayectoria particular, (Copons Llorens & Tallada, 2009)

Los volúmenes de los desprendimientos son extremadamente variables, desde las frecuentes caídas de bloques de pocos metros cúbicos, hasta la caída de grandes partes de una montaña que se manifiestan en casos muy excepcionales (Copons Llorens & Tallada, 2009).

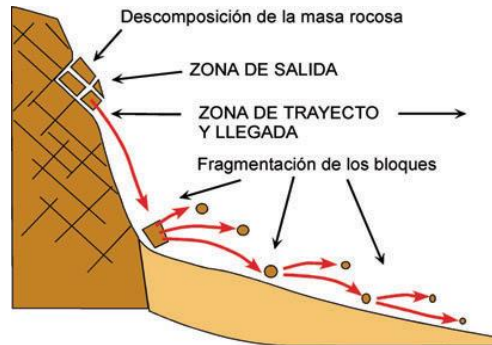


Figura 6. Esquema de un desprendimiento en donde se define: la zona de salida de la masa rocosa, la posterior fragmentación a lo largo de la zona de trayecto y la acumulación de bloques rocosos en la zona de llegada (Copons Llorens & Tallada, 2009).

2.4.3.2 Vuelcos

Un vuelco consiste en una rotación hacia afuera de la ladera de una masa de roca o suelo, en torno a un punto o eje por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada (Cruden & Varnes, 1996), Figura 7.

Los vuelcos se producen principalmente en escarpes en donde existen fracturas verticales en el terreno que son las causantes de separar las columnas rocosas, o de tierras, susceptibles al vuelco. Las velocidades son, en su inicio, lentas pero suelen acelerarse hasta ser extremadamente rápidas. Los efectos destructivos son similares a los desprendimientos.

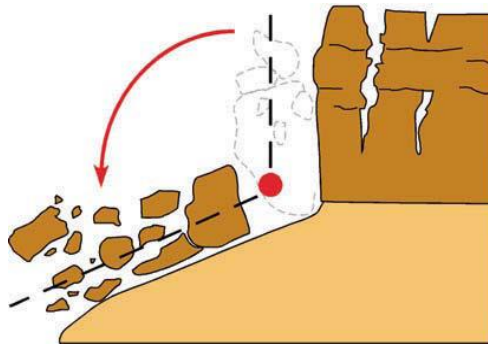


Figura 7. Esquema de vuelco de una masa rocosa desprendida del sustrato rocoso. Esta masa pivota sobre un eje (punto rojo) hasta caer al suelo por gravedad donde los diferentes fragmentos se acumulan o ruedan ligeramente vertiente abajo (Copons Llorens & Tallada, 2009).

2.4.3.3 Deslizamientos

Un deslizamiento (slide en inglés) es el movimiento de una porción de terreno a través de una superficie de rotura neta con la preservación general de la estructura interna original, (figura 8). Se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos: los deslizamientos rotacionales en donde la superficie de rotura es circular, a modo de cuchara; y los deslizamientos traslacionales donde la superficie de rotura es totalmente plana (Cruden & Varnes, 1996).

Los deslizamientos son especialmente frecuentes en laderas inclinadas, entre 20 y 50 grados, y con formaciones geológicas poco resistentes y cohesivas (lutitas arcillosas, margas, etc.). También son frecuentes en laderas formadas por rocas estratificadas con intercalaciones de capas delgadas de arcillas o lignitos. Es también la inestabilidad más frecuente en terraplenes antrópicos (Copons Llorens & Tallada, 2009).

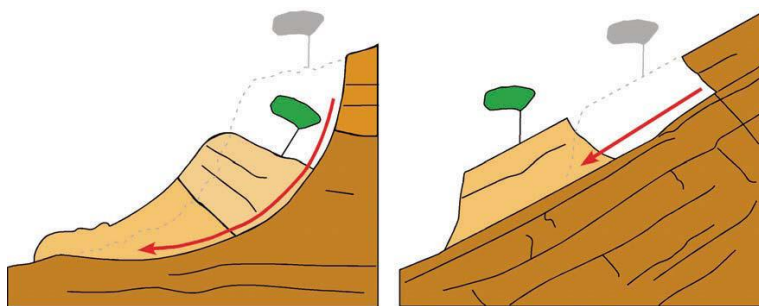


Figura 8. Esquema de deslizamiento rotacional (A) y traslacional (B) donde se puede apreciar el desplazamiento de la masa inestabilizada a través de una superficie de rotura neta (Copons Llorens & Tallada, 2009).

2.4.3.4 Expansión lateral

La expansión lateral (lateral spread en inglés) es un fenómeno caracterizado por el desplazamiento lateral de una vertiente combinado con la subsidencia de la cima, (foto 9). Las expansiones laterales más habituales se manifiestan en formaciones geológicas en donde existen formaciones duras situadas encima de una formación arcillosa propensa a la licuefacción (Cruden & Varnes, 1996) (como licuefacción se entiende a la transformación de un sedimento granular saturado en agua, poco consolidado y de una cierta consistencia, en una masa con las propiedades de un fluido debido a la vibración causada, por ejemplo, por un sismo).

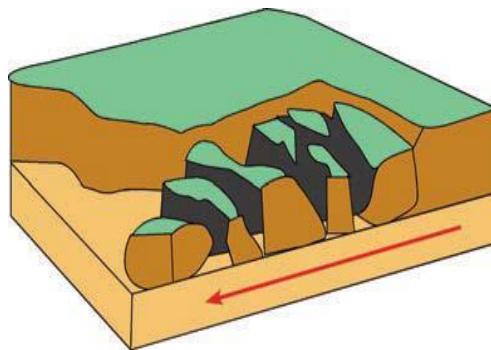


Figura 9. Esquema simplificado de una expansión lateral. La coloración más oscura representa una capa dura fragmentada por la inestabilidad, y la coloración más clara la capa licuefactada subyacente (Copons Llorens & Tallada, 2009).

2.4.3.5 Flujos

Un flujo (flow en inglés) es un movimiento continuo, similar a un líquido viscoso, que no preserva la estructura interna original del material desplazado sino que adopta la morfología de la vertiente por la que discurre. Existen diferentes tipos de flujos (Corominas & Yagüe, 1997) (Highland & Bobrowsky, 2008).

La colada fangosa (earthflow en inglés) tiene lugar en materiales finos y cohesivos como son los limos y las arcillas. Se generan en vertientes moderadamente inclinadas, entre 20 y 50 grados (Figura10).

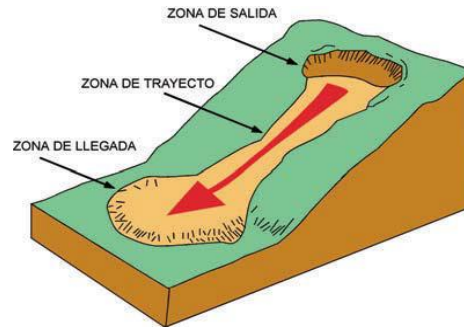


Figura 10. Esquema de una colada fangosa (Copons Llorens & Tallada, 2009) .

La corriente de derrubios (debris flow en inglés) habitualmente es un flujo “turbulento” formado por un material fangoso con bloques rocosos. Normalmente, las corrientes de derrubios se manifiestan durante lluvias extremadamente fuertes (Figura 11).

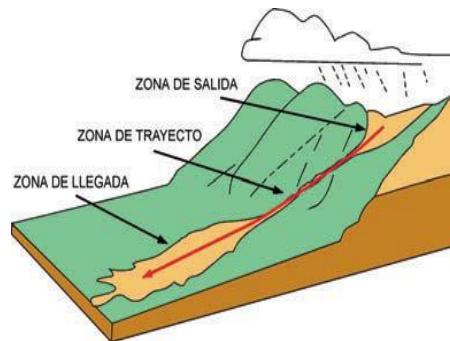


Figura 11. Esquema de una corriente de derrubios (Copons Llorens & Tallada, 2009).

La reptación superficial (slow earthflow o creep en inglés) es la inestabilidad de la parte más superficial del terreno (de decímetros a pocos metros de grosor) y que se desplaza mediante velocidades muy lentas (del orden de mm/año a dm/año) (Figura12).

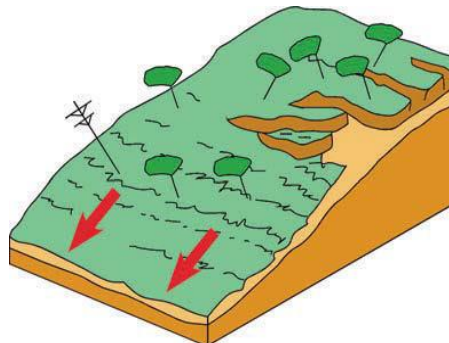


Figura 12. Esquema de una reptación superficial en un ladera donde se puede observar que este movimiento afecta a los árboles y a las construcciones sencillas que haya por encima (Copons Llorens & Tallada, 2009).

2.4.4 Factores que influyen en la inestabilidad de taludes

Esta clasificación identifica dos tipos de factores: condicionantes y desencadenantes (Ayala Carcedo, 2002).

Los factores condicionantes, son factores propios del lugar que responden a características físicas del terreno y del medio geográfico donde se encuentran. Se distinguen por su lenta evolución, ejemplo de este tipo de factores son:

- Litología
- Estructura tectónica,
- Hidrogeología
- Relieve
- Clima.

Por otra parte, los factores desencadenantes, son los que detonan o desencadenan la inestabilidad. La característica de estos factores son sus efectos rápidos o instantáneos. Esencialmente se reconocen 3 factores condicionantes:

- Sismos
- Precipitaciones
- Actividades antrópicas.

2.4.5 Análisis de inestabilidad de ladera

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Los análisis permiten definir la geometría de la excavación o las fuerzas extremas que deben ser aplicadas para lograr el factor de seguridad requerido. En caso de taludes inestables, los análisis permiten diseñar las medidas de corrección o estabilización adecuadas para evitar nuevos movimientos. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002). Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento fisicomatemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad.

Métodos de equilibrio limite

Los métodos de equilibrio limite (los más utilizados) analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002), tabla 2. La aplicación de estos métodos requiere las siguientes etapas de cálculo (Alonso, 2005).

1. Se busca un mecanismo de rotura cinemáticamente admisible. Usualmente se consideran masas de suelo rígidas que deslizan sobre superficies de rotura posibles de formas geoméricamente sencillas, tales como rectas, circunferencias y espirales logarítmicas. Si el suelo es heterogéneo estas superficies pueden ser más complejas.
2. Generalmente se define el coeficiente de seguridad a partir del concepto de esfuerzo o tensión de corte “movilizado”. Este esfuerzo se calcula dividiendo:

Máximo esfuerzo de corte disponible (calculable mediante la expresión de Mohr –Coulomb) por el coeficiente de seguridad, F.

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla.

$$F.S : \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}} \quad \text{Ecuación 1}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y Actuantes:

$$F.S : \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Métodos de Equilibrio de Limite	Superficie de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius, 1927)	Circulares	De fuerzas	No considera fuerzas entre las dovelas
			No satisface equilibrio de fuerzas
			El procedimiento del método es simple
			Impreciso para taludes planos
			Factores de seguridad bajos
Bishop Simplificado (Bishop, 1955)	Circulares	De momento	Las fuerzas de cortante entre dovelas son=0
			Reduce número de incógnitas
			No se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Jambu Simplificado (Jambu, 1968)	De cualquier de las superficies de falla	De fuerzas	Las fuerzas de cortante entre dovelas son=0
			No satisface equilibrio de momentos
			Utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error.
			Los factores de seguridad son bajos
Sueco Modificado U.S. Army of Engineers (1970)	De cualquier de las superficies de falla	De fuerzas	Las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno
			Los factores de seguridad son altos
Spencer, (1967)	De cualquier de las superficies de falla	Momento y fuerzas	Inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada
			Satisface el equilibrio estático
Morgenstern y Price, (1965)	De cualquier de las superficies de falla	Momento y fuerzas	Fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado
			El método es muy similar al método Spencer
Elementos finitos	De cualquier de las superficies de falla	Analiza esfuerzos y deformaciones	Satisface todas las condiciones de esfuerzo
			Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos.

Tabla 2. Método más importante para estabilidad de taludes (Abramson & Boyce, 2002).

2.4.5.1 Método de Fellenius

Fue el primer método para resolver el problema de taludes no homogéneos por división en rebanadas. Propuesto por Fellenius en 1927, también se conoce como método ordinario o sueco.

El método considera una superficie de falla cilíndrica, la cual tiene rotación considerando un punto de giro que corresponde al centro del círculo que define la superficie de falla. Se ignora la fricción entre dovelas y solo se consideran las fuerzas tangenciales a lo largo de la superficie de falla que actúan en cada una de ellas.

El factor de seguridad se calcula como la relación entre la sumatoria de los momentos resistentes de cada dovela y la sumatoria entre los momentos actuantes también en cada dovela, ambos respecto al centro del círculo de falla (Figura13).

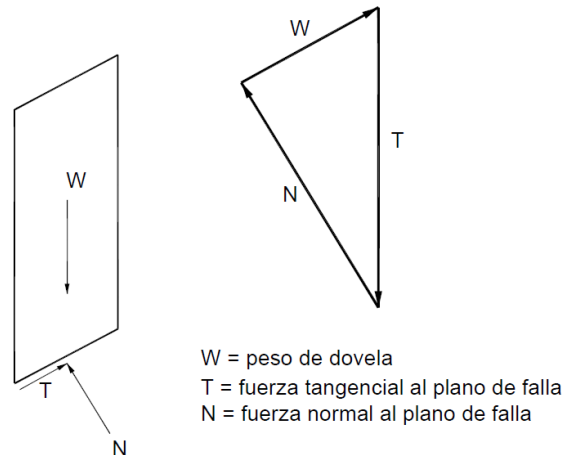


Figura 13. Diagrama de cuerpo libre y polígono de fuerzas aplicado en el método Fellenius.

El factor de seguridad está definido como

$$FS : \frac{\Sigma(c\beta + N \tan \phi)}{\Sigma S \sin \alpha} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

C Cohesión del ángulo

Φ Ángulo de fricción del suelo

β Ángulo de inclinación del talud

N Fuerza normal ()

W Peso de la dovela

α Ángulo de inclinación de la superficie de falla.

2.4.5.2 Método de Bishop modificado

Bishop 1954, propuso un método cuya solución es una refinación al método de Fellenius. Considera una superficie de falla cilíndrica y una masa de suelo que gira sobre un punto, el cual corresponde al centro del círculo que define la superficie de falla. No considera la fricción entre dovelas, solamente las fuerzas normales a éstas.

Considerando que se establece el equilibrio vertical de todas las fuerzas que actúan sobre cada dovela, y que el factor de seguridad es la relación entre la sumatoria de los momentos resistentes y la sumatoria de los momentos actuantes, se tiene:

$$FS : \frac{1}{\sum (W \sin \alpha)} (c\beta + W \tan \phi \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \alpha}{FS} \right)) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

C Cohesión del suelo

ϕ Ángulo de fricción del suelo

β Longitud de la superficie de falla

W Peso de la dovela

Como el factor de seguridad está implícito en la ecuación, el método se reduce a una solución mediante tanteos. Con la aplicación de la informática esta acción se puede resolver de manera sencilla. Kering (1995), propuso una gráfica que auxilia en la solución al asignar valores al coeficiente:

$$\cos + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{FS} \quad \text{Ecuación 5}$$

2.4.5.3 Método de Janbu simplificado

El método de Janbu simplificado, (Fredlund & Krahn, 1977) similar al de Bishop modificado, con la diferencia de que toma en cuenta el equilibrio de fuerzas horizontales, mientras que Bishop modificado considera el equilibrio de momentos.

El método toma en cuenta las fuerzas normales generadas entre las dovelas, sin considerar las fuerzas de fricción generadas entre estas:

$$FS : \frac{(\sum c_i(\cos \alpha) + (P - u_i) \tan \phi \cos \alpha)}{\sum P(\sin \alpha) + \sum kW \pm A - L \cos \alpha} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde

- FS Factor de seguridad
- C Cohesión del suelo
- Φ Ángulo de fricción del suelo
- I Longitud de superficie de falla
- W Peso de la Dovela
- α Inclinación de la superficie de falla
- P Fuerza normal total en base de las dovelas
- U Presión de poro
- A Carga uniforme en la superficie del talud
- K Coeficiente sísmico
- L Carga uniformemente repartida

2.4.5.4 Método de Morgenstern- Price

(Morgenstern & Price, 1965): Propusieron un método que satisface el equilibrio estático de fuerzas y momentos en forma rigurosa. Considera que la fuerza resultante entre dovelas varía con respecto a un porcentaje de una función arbitraria y por una constante λ . Estos factores permiten utilizar superficies de falla curvas que no necesariamente sean cilíndricas. Las ecuaciones (7) y (8) presentan el cálculo del factor de seguridad con respecto al equilibrio de fuerzas y de momentos, respectivamente.

$$FS_m : \frac{\sum \{c \beta + (N - uL) R \tan \phi\}}{\sum W_x - \sum N_f \pm \sum D_d} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$FS_F : \frac{\sum c \beta + (N - U) \tan \phi \cos \alpha}{\sum N \sin \alpha - \sum D \cos \alpha} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

FS_m	Factor de seguridad con respecto al equilibrio de momentos,
FS_F	Factor de seguridad con respecto al equilibrio de fuerzas,
C	Cohesión de del suelo
ϕ	Angulo de fricción del suelo,
β	Longitud de la superficie de falla,
W	Peso de la dovela,
α	Inclinación de la superficie de falla
N	Fuerza normal entre dovelas
X	Fuerza tangencial entre dovelas

2.4.5.5 Método de Spencer

Es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer (1967), se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación.

La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares. Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad F y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas θ .

Para resolver las ecuaciones F y θ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error.

Una vez se obtienen los valores de F y θ se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad.

2.4.5.6 Análisis computacional para la estabilidad de taludes

El software Geo-studio es un grupo de programas que permiten modelar problemas geotécnicos, geo-ambientales, ingeniería civil e ingeniería de minas. Este será utilizado con el fin de modelar el talud, con el cual se obtiene el factor de seguridad (Geo-studio, 2019).

Paquete de programas incorporados en el software Geo-studio:

1. Análisis geo estático inicial con el programa, Quake/W
2. Análisis de estabilidad de talud por medio de equilibrio limite Slope/W
3. Análisis dinámico por sismo, Quake/W
4. Método de deformaciones de Newmark, Slope/W
5. Modelo de re-distribución de esfuerzos, Sigma/W

2.5 HIPOTESIS

El área de estudio presenta las condiciones aptas para originar un fenómeno de inestabilidad de ladera principalmente por algunos factores condicionantes y desencadenantes como las precipitaciones, el fracturamiento de rocas y vibraciones vehiculares. Del análisis de la ladera a través del modelamiento geotécnico que se realizará, se obtendrán datos del factor de seguridad, el cual probablemente estaría en un rango ≤ 1.5 , que se considera como valores inestables de ladera de acuerdo a los métodos de análisis de equilibrio límite.

III. CAPITULO III

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación se denomina Mixto, consiste en la integración de los métodos cuantitativo y cualitativo. Cualitativo porque se hizo la descripción litológica de la ladera en campo, se determinó el tipo de movimiento de ladera que esta presenta y posteriormente la descripción geotécnica de las muestras recolectadas en el laboratorio y cuantitativo ya que a partir de levantamiento de la ladera se obtuvieron valores numéricos de sus dimensiones los cuales en complemento con los datos geotécnicos ayudaran a realizar el modelamiento a través del Software GeoStudio y obtener un valor del factor seguridad.

3.1.2 Tipo de estudio

El tipo de estudio realizado se enmarco en descriptivo.

Descriptivo porque implica la descripción de las rocas, identificando su color, textura, composición, clasificación, así como el análisis del tipo de movimiento en que se encuentra la ladera y la descripción geotécnica que determino propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas.

3.1.3 Universo y Muestra

Como universo se considera el tramo de la carretera San Lucas-Las Sabanas, que es el área en estudio; Y la muestra las Rocas y suelo que conforman la ladera inestable en el tramo de la carretera.

3.1.4 Materiales y Actividades a realizar

Recopilación de información

En esta etapa se realizó la recopilación, análisis y selección de todos los estudios realizados en la zona a nivel local en el área de estudio. De igual manera se adquirió documentación referente a los procesos de inestabilidad de ladera, mediante artículos científicos, monografías, informes, libros etc. El material a utilizar fueron los mapas topográficos y geológicos de la zona de estudio.

Etapas de Campo

En esta etapa se asistió al área de estudio y se realizó el levantamiento geológico y geotécnico de la ladera (figura 14), identificando los tipos de rocas, sus propiedades macroscópicas, medición de fallas y fracturas (foto 1-2). Una vez identificados los sitios inestables con movimientos de remoción en masa se procede a cuantificar su área mediante la toma de su longitud y amplitud medido con cinta métrica (foto 3), mediante observaciones se describieron y analizaron los factores detonantes (pendiente, clima-precipitación y acción antrópica). Se tomaron adicionalmente muestras alteradas, que se embolsaron e identificaron como GEO-1 y GEO-2 con pesos aproximados de 2 kg, para ensayos de clasificación granulométrica por el método de la SUSC (Sistema unificado de clasificación de suelos) y AASHTO, con el fin de obtener los parámetros necesarios para realizar el cálculo de la estabilidad de los taludes, con la respectiva determinación del factor de seguridad.

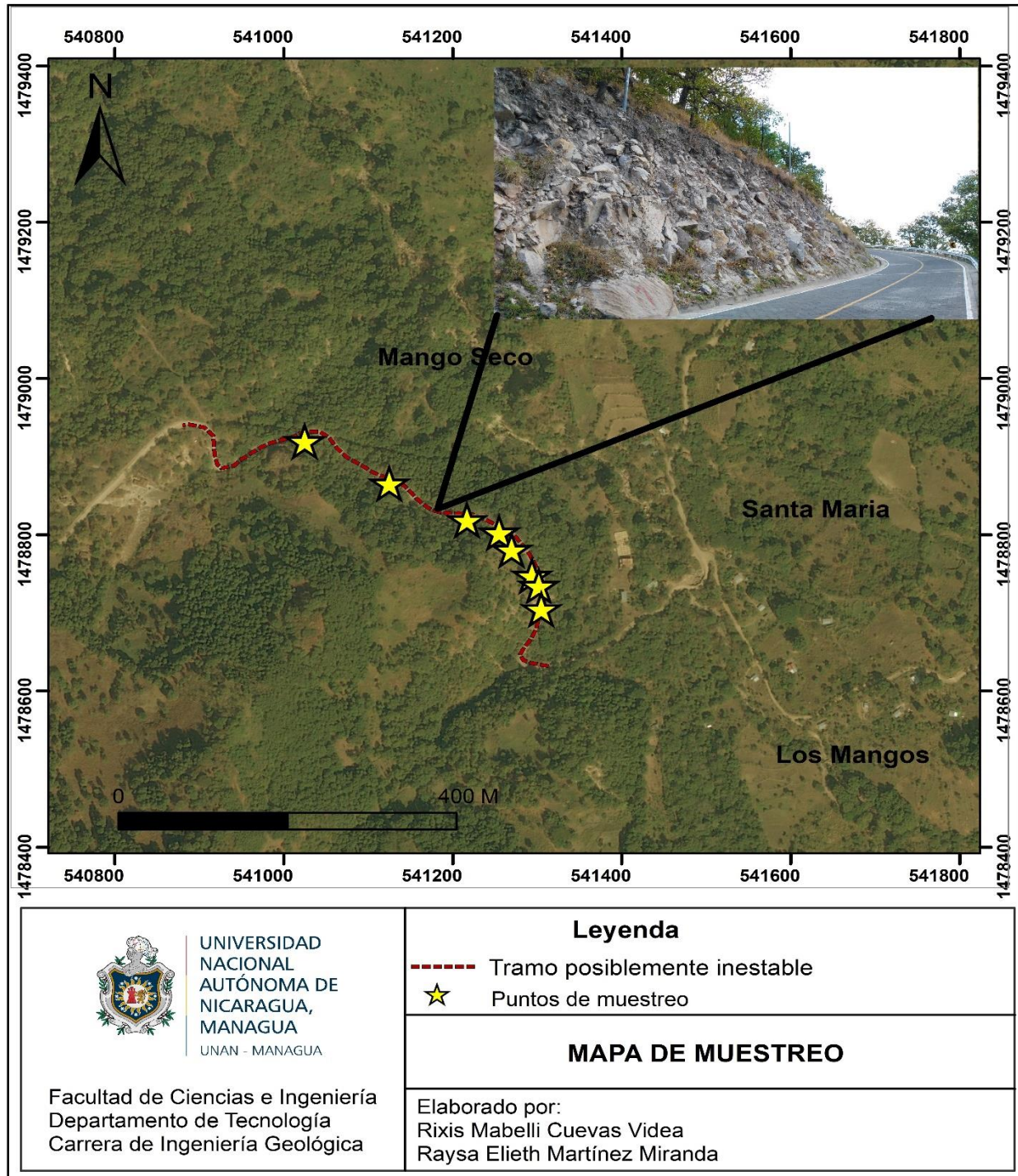


Figura 14. Mapa de muestreo.



Foto 1. Medición de fracturas a lo largo de los cortes de la ladera.



Foto 2. Medición de direcciones de fracturas.



Foto 3. Levantamiento de dimensiones de los deslizamientos.

3.1.5 Análisis e interpretación

Obtenidos los datos y muestras se hizo el análisis geológico, determinando a detalle los estratos que conforman la ladera por medio del software ArGis 10.5 y AutoCad 2018. Además, se realizó el análisis de los principales esfuerzos de deformación que afectan el área por medio del uso de software GEOrient.

Para el análisis geotécnico las muestras recolectadas en campo se sometieron a pruebas en el laboratorio, serán caracterizadas siguiendo los procedimientos establecidos en las normativas ASTM. Los ensayos estándar de mecánica de suelos a realizar serán los siguientes:

- 1) Análisis Granulométrico de agregados finos y gruesos AASHTO T 27
- 2) Determinación de límites de consistencia ASTM D 4318
- 3) Gravedad específica de suelos AASHTO T 100
- 4) Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso AASHTO T 85
- 5) Determinación de contenido de humedad ASTM D 2216

6) Clasificación de suelos HRB, AASHTO M 145

7) Clasificación de suelos SUCS, ASTM D 2487

Análisis Granulométrico

La prueba comenzó por disgregar todo el material puesto que estaba constituido en su mayoría por grumos, el proceso se realizó hasta tener partículas aptas para pasar al tamizado, mezclándose los fragmentos gruesos, medios y finos (Foto 4).

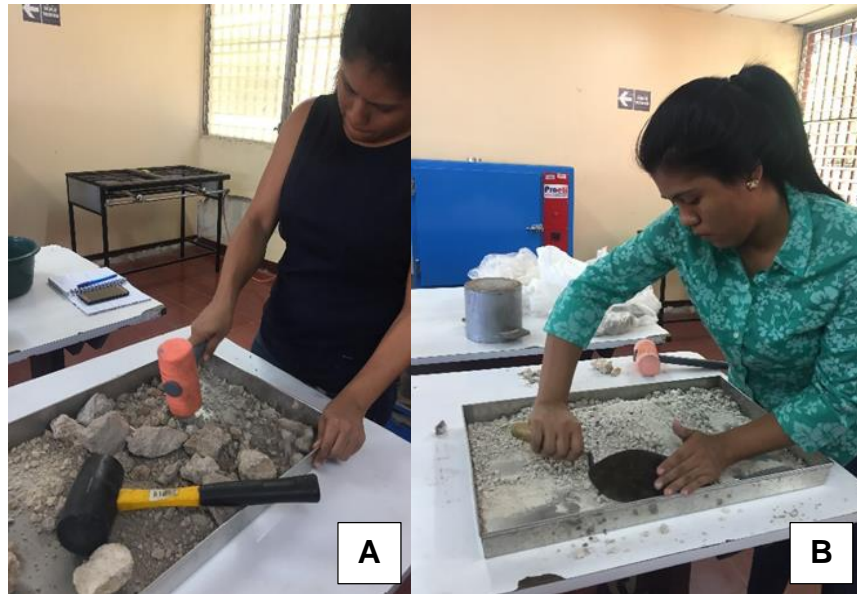


Foto 4. A) Proceso de disgregado de la muestra B) mezcla para homogenizar el material.

A través del método de cuarteo el cual consiste en mezclar bien el material y dividirlo en 4 partes, se toman 2 porciones diagonales esto con el propósito de homogenizar e igualar la humedad del material y garantizar la efectiva distribución de todos los diámetros de partículas. Posterior a esto se toma parte de la muestra aproximadamente 250 g para pesarlo y obtener peso húmedo + tara, la otra parte del material (aproximadamente 2500 g) es pesado junta con la tara que lo contiene y el resultado es el peso inicial de la muestra húmeda.

El material es lavado con abundante agua por un periodo aproximado de 60 minutos y se criba por el tamiz número 200 hasta eliminar lo más fino. Una vez lavado es puesto en la estufa con el objetivo de secar el material y poder pasar al procedimiento de cribado (foto 5).

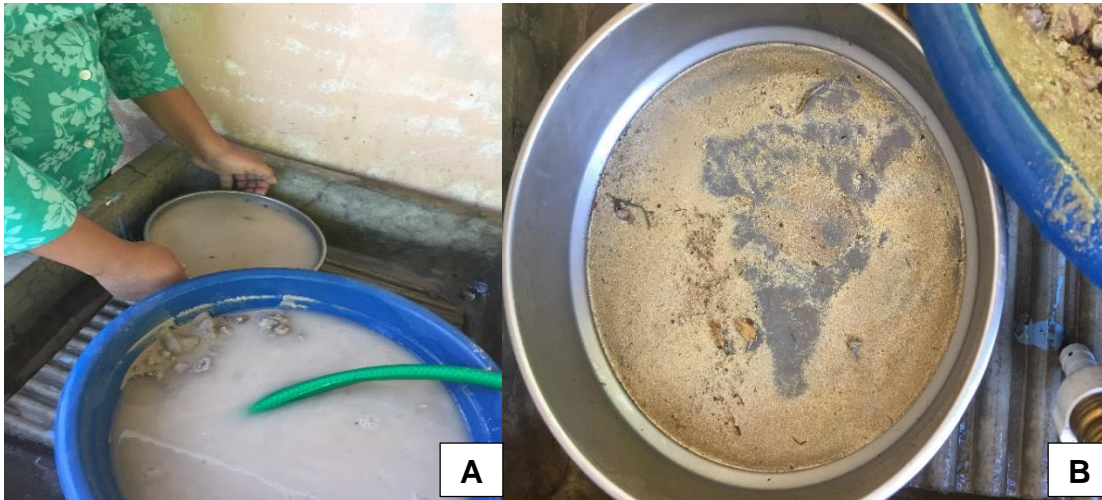


Foto 5. A) Lavado constante de material B) Material retenido en la malla n° 200 durante el lavado.

Cuando el material está seco se procede a pesarlo y obtener la masa de muestra lavada, una vez obtenido los parámetros se pasa el tamizado el cual se agita hasta lograr que el material atraviese todas las mallas, que van desde de la malla 3" hasta la número 200 (foto 6).

Se pesan las cantidades retenidas en cada tamiz hasta el fondo y se realizan los cálculos correspondientes para determinar los posibles parámetros de graduación, curva granulométrica y clasificación del suelo.



Foto 6. Proceso de cribado a través de las mallas de diferentes diámetros.

Gravedad específica de suelos

La gravedad específica de un suelo se toma como el valor promedio para granos del suelo. El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, la gravedad específica de cualquier sustancia se define como el peso unitario del material en cuestión dividido por el peso unitario del agua destilada.

El material se cribó por el tamiz n° 4, luego se procedió al secado del suelo, se pesó el picnómetro o matraz (en este caso se utilizó matraz a falta de picnómetro en el laboratorio), luego se colocó el material (45 ± 10) y se pesó despreciando el peso del matraz a esto se le agregó una considerada cantidad de agua y se empezó a agitar por 15 minutos con el objetivo de eliminar todos los vacíos en el material (Foto 7).



Foto 7. A) Toma de peso del matraz más la muestra B) Proceso de adición de agua al matraz para agitarlo.

El recipiente fue llenado de agua y se enrazo con una placa de vidrio para descartar burbujas de aire, luego este se pesó en la balanza, por último se llenó el matraz solamente con agua y se enrazo despreciando burbujas de aire para ser pesado, con estos datos se realizaron los cálculos correspondiente para obtener la gravedad específica con el mínimo error permisible (Foto 8).



Foto 8. A) Enraze de matraz con placa de vidrio B) Toma de peso del matraz más muestra y agua.

Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso

De igual manera se aplica el principio de Arquímedes para emplear esta prueba.

Esta prueba se realiza a una muestra de material de gran tamaño por lo cual se llena un recipiente grande de agua (balde) la cual debe estar a una temperatura de 23° C.

Seguidamente es pesada la cesta donde se introdujo la roca para sumergirla en agua, cuando la muestra se coloca dentro del agua está ya debe estar en la temperatura requerida de 23° en este caso se utilizó hielo para obtener esa temperatura.



Foto 9. A) Peso del recipiente B) Medición de temperatura apta para realizar la prueba.

Se pesa todo y luego se despreja el peso de la cesta y así tenemos el peso sumergido de la muestra, una vez hecho esto se sacó la muestra del recipiente y fue secado con una toalla hasta estar en el estado saturado superficialmente seco y obtener su peso.

De último paso la muestra se introdujo al horno por 24 horas y luego fue pesado obteniendo la masa seca, cuando se obtuvieron todos los datos se procedió hacer los cálculos para obtener la gravedad específica del grueso y su porcentaje de absorción (Foto 10).



Foto 10. A) Colocación de la muestra al horno B) Medición de peso de la muestra seca.

Límites de consistencia

El primer paso a realizar fue secar parcialmente el material utilizando el calor natural del sol, después se cribó el material a través del tamiz n° 40 y se procedió a la determinación del límite líquido el cual consistió en:

Se tomó una porción de aproximadamente 100 g del material que paso por el tamiz n° 40 y se colocó en un recipiente mezclador (pana plástica) se agregó un contenido de humedad arbitrario para poder mezclar y homogenizar el material (Foto 11).



Foto 11. Se ilustra el proceso previo a la homogenización del material agregando agua y luego mezclando todo.

Con la ayuda de una espátula se procedió a tomar del material húmedo y se colocó en la copa de Casagrande ejerciendo una pequeña presión para extender el material en la copa, luego con la misma espátula se enrasó el exceso de material hasta dejarlo a una altura máxima de 1 cm. Se dividió el material en 2 porciones con la ayuda de un equipo ranurador (Foto 12).

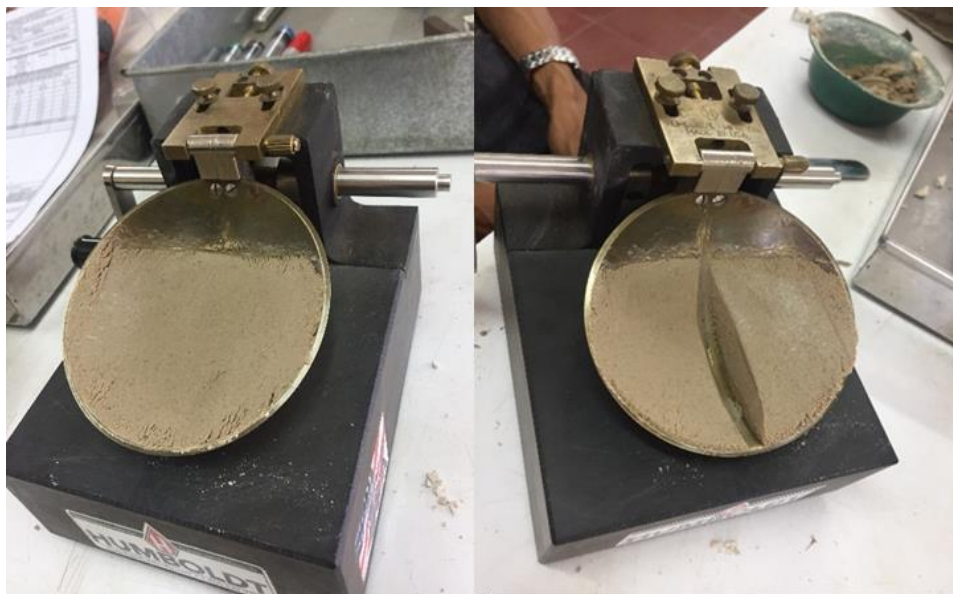


Foto 12. Copa de Casagrande se rellena con material y luego se pasa el ranurador en el centro de esta.

Se ejecutaron los golpes de caída libre de la copa para hacer fluir las dos porciones al rango necesario para cada prueba.

Se tomó una porción del material ensayado en la copa y se procedió a determinar su contenido de humedad, este procedimiento se realiza para los diferentes rangos de humedad. Con los distintos porcentajes de humedad que se obtuvieron se realiza una suma y un promedio de los resultados para obtener el límite líquido.

Para determinar el límite plástico se tomó una porción de aproximadamente 20 g del material que sobró del ensayo de límite líquido y se sometió a un proceso de secado con ayuda de un ventilador y amasado con las manos.

Se estuvo probando el material en una placa de vidrio mediante la fabricación de rollitos con el material hasta alcanzar un diámetro aproximado de 3 mm y garantizar la fracturación natural de estos. Cuando se alcanza esta condición se procede a determinar el contenido de humedad de los rollitos, el cual se reportara como límite plástico. medad (Foto 13).



Foto 13. Taras con material sobrante de la copa de CasaGrande listos para ser pesados.

Los parámetros de Determinación de contenido de humedad ASTM D 2216, Clasificación de suelos HRB, AASHTO M 145 y Clasificación de suelos SUCS, ASTM D 2487 se obtuvieron a partir de los resultados de los análisis granulométricos.

Uso del software GeoStudio

En el presente trabajo utilizó uno de los programas de computación más conocidos para el análisis de estabilidad de taludes: GeoStudio. La formulación comprensible del GeoStudio permite el análisis de estabilidad usando los siguientes métodos: Método Ordinario o de Fellenius, el método de Bishop simplificado, el método de Jambu simplificado, el método de Spencer, el método Morgenstern Price, el método del cuerpo de ingenieros, el método Lowe-Karafiath, el método generalizado de equilibrio (GLE) y el método de elementos finitos. El programa calcula el factor de seguridad para todas las posibles superficies de falla.

Para lograr un correcto análisis de inestabilidad del talud mediante el uso del programa GeoStudio fue imprescindible poder determinar los parámetros que caracterizan la ladera en estudio como la geometría y los estratos que lo componen (Figura 15).

En este estudio la configuración geométrica fue analizada mediante la división transversal en 8 partes de la ladera, según los datos del levantamiento geotécnico en el que se consideraron las dimensiones de esta más los parámetros obtenidos en el laboratorio para clasificar el suelo, con estos datos se corrió el programa hasta simular todas las superficies de falla posibles (Figura 16), se tomaron tres modelaciones por punto con el valor del factor seguridad más crítico, más inestable y más inseguro. Para cada modelación se presenta un ejemplo (Figura 17).

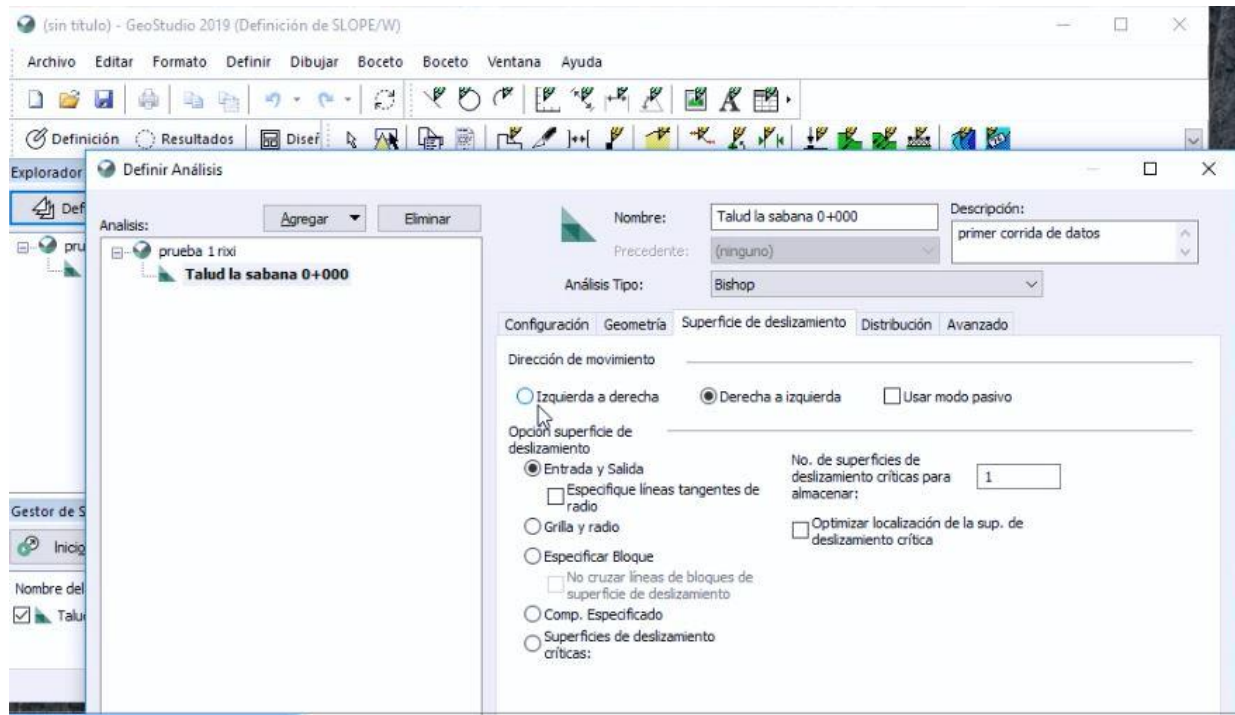


Figura 15. Inserción de datos de entrada para correr el programa

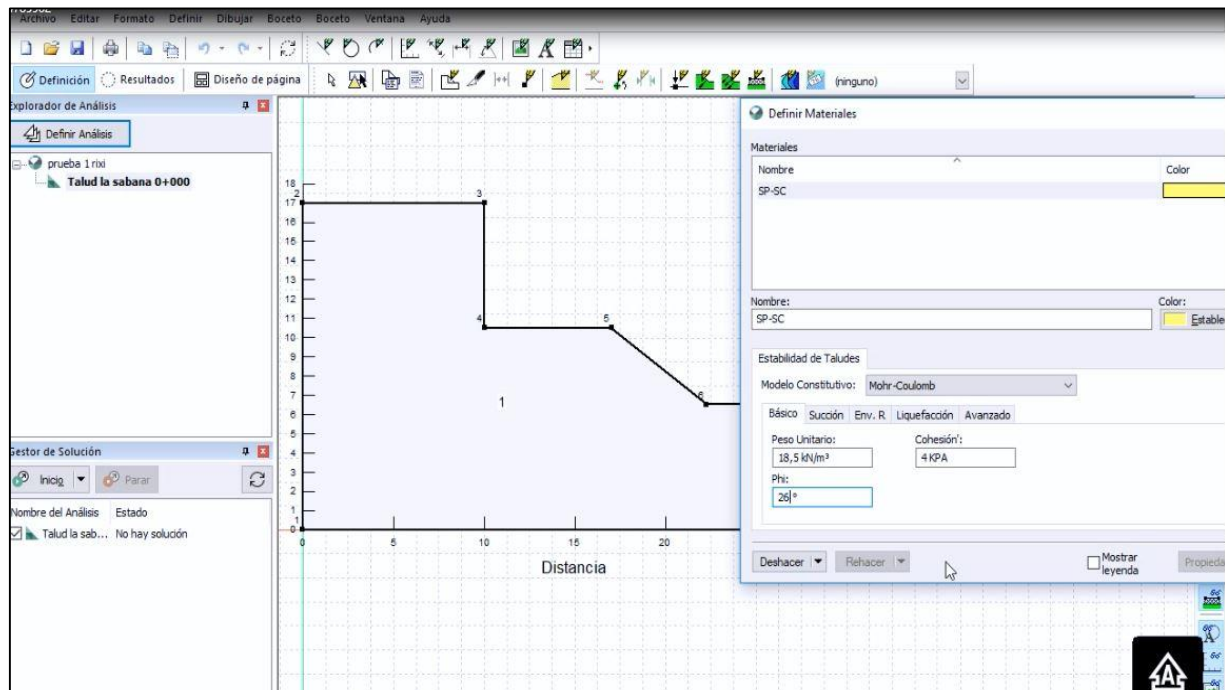


Figura 16. Inserción de datos de entrada del suelo por el criterio de Mohr Coulomb.

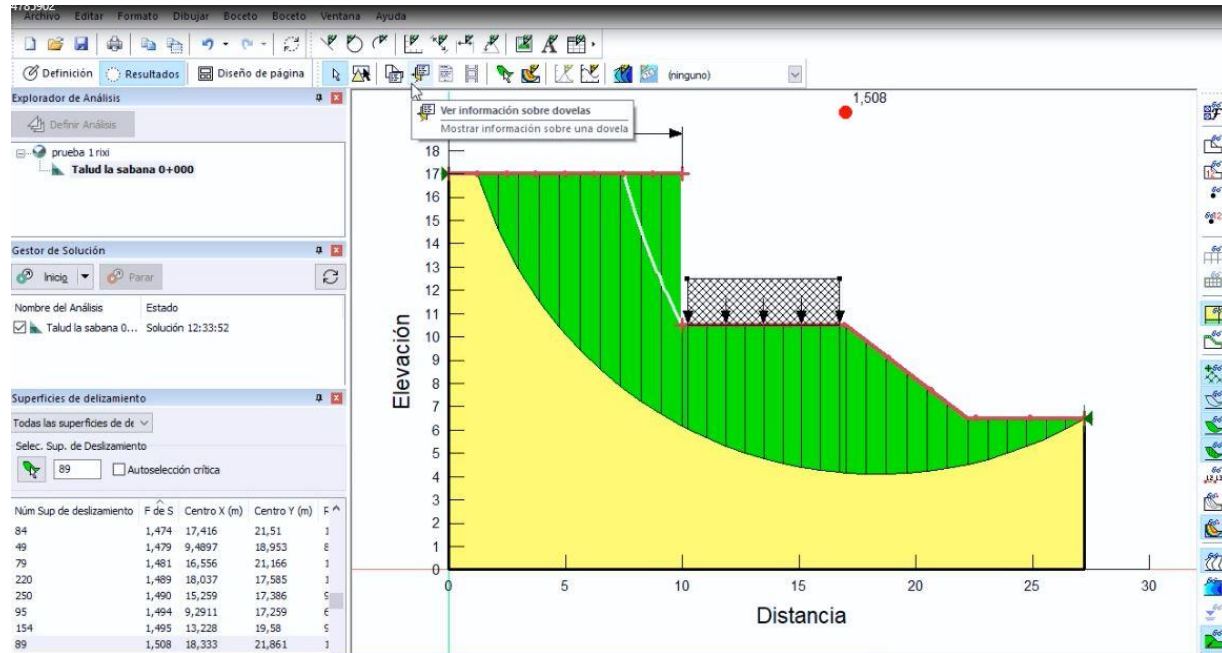


Figura 17. Resultados de la modelación ejecutada en el programa.

IV. CAPITULO IV

4.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 Análisis Geológico

4.1.1.1 Factores desencadenantes y condicionantes de la inestabilidad de la ladera

Geología

La zona de estudio pertenece a la Provincia Geológica Central de Nicaragua que está dentro de la Provincia Meridional de América Central, que a su vez gran parte está dentro del Bloque Chortis y una pequeña porción dentro del Bloque Chorotega. Las Rocas del área de estudio pertenecen al grupo Coyoil se distingue claramente por presentar un relieve muy característico de mesetas y cuevas escalonadas con escarpes verticales que fueron originadas por las ignimbritas, lavas y tobas intercaladas que fueron depositadas como capas horizontales ligeramente inclinadas. Los horizontes de ignimbritas cuando no están superpuestas por otras rocas presentan un mosaico de fracturas.

Unidades Litológicas del área de estudio:

Las rocas que afloran en el área pertenecen al grupo Coyoil inferior, dentro de la Formación Ignimbritica Dacíticas (Tmcd), (Foto 14). La ignimbrita dacíticas identificada en la ladera es de color gris a blanquecino, está compuesta por minerales de cuarzo (Foto 15), feldespato, biotita, así como clastos de pómez y líticos de color gris oscuro (probablemente de composición andesítica).

Según Hradecky, Zacek, Hroch, Guarín & Pérez, estas rocas pertenecen a depósitos de deslizamientos del grupo Somoto Superior, que las clasifica como Ignimbritas Dacíticas y Riолíticas soldadas. Cabe mencionar que en el parte superior del afloramiento encontramos un horizonte de suelo de color marrón, con textura limo – arcillosa, con abundante materia orgánica (hojas y raíces de árboles) (Figura 18).



Foto 14. Talud presente en el área de estudio con presencia de rocas volcánicas identificadas como ignimbritas.



Foto 15. Presencia de cristales de cuarzo al ser triturada la roca previo a prueba granulométrica.

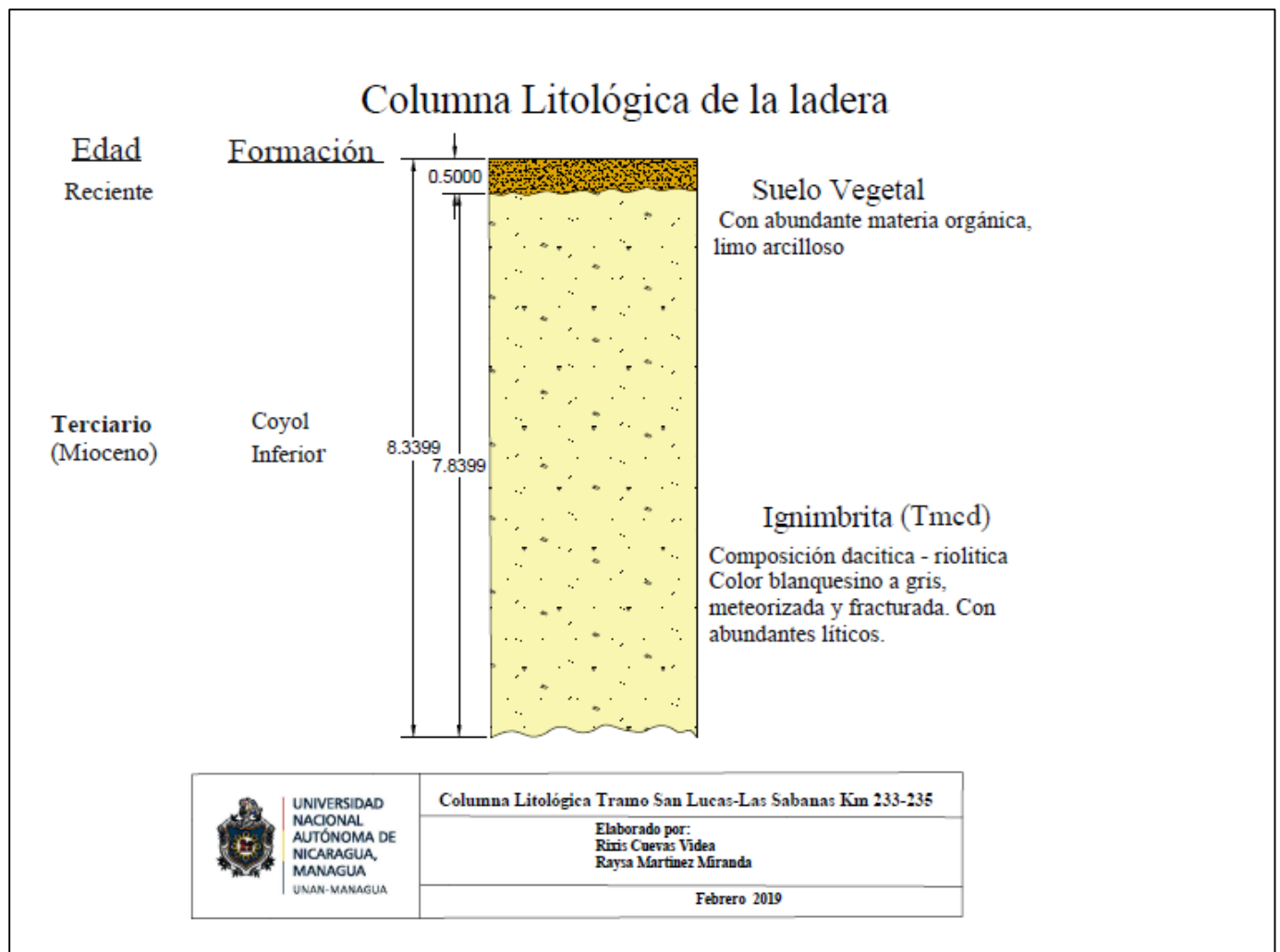


Figura 18. Columna Litológica.

Estructuras presentes en la ladera

Una de las principales características tectónicas presentes en la zona es el alto grado de fracturamiento que presentan los depósitos de ignimbritas, el que tiende hacer un factor importante al momento de desencadenar un deslizamiento.

Las ignimbritas presentan un sistema de estructuras complejas asociadas a un sistema de falla lístrica horizontal, la que presenta una zona de deformación por cizalla con sistema de fracturas paralelas con una dirección preferencial NE (Foto 16), (Figura 19) y fracturas conjugadas, también se observaron algunos indicadores cinemáticos como sigmoides semi horizontales predispuestos en dirección a la falla listrica (Foto 17).



Foto 16. Esquema de las fracturas que presenta una distribución paralela corte de ignimbrita con mayor solidificación.

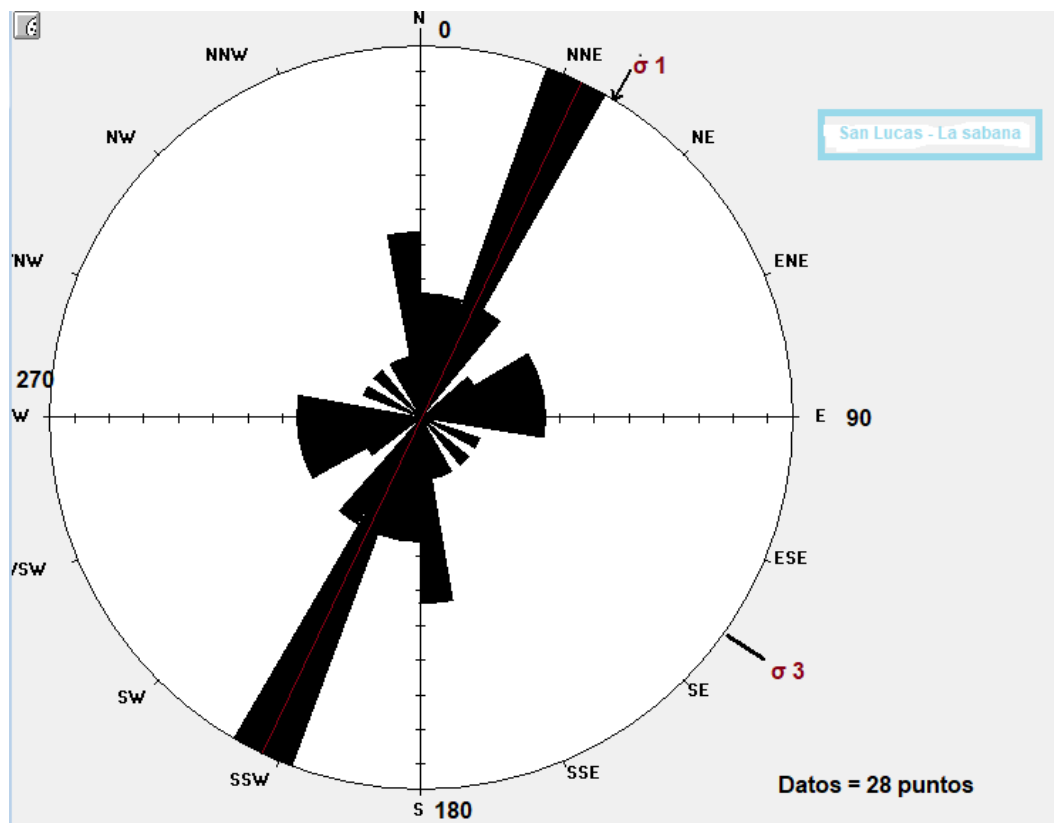


Figura 19. Roseta de Fracturas.

Los datos tomados para realizar la rosetas de fracturas nos demuestran que el mayor esfuerzo compresional ($\sigma 1$) está en una dirección NE a SW y el esfuerzo extensional ($\sigma 3$) en dirección SE-NW. Los esfuerzo de deformación (fracturas conjugadas, sigmoides y falla listrica) que caracterizan el área de estudio se encuentran perpendicularmente a los esfuerzos regionales que afectan el área (Mapa geológicos Somoto, Hoja 2856-II,). Además, estos esfuerzos pueden estar relacionados a la actividad volcánica del Terciario

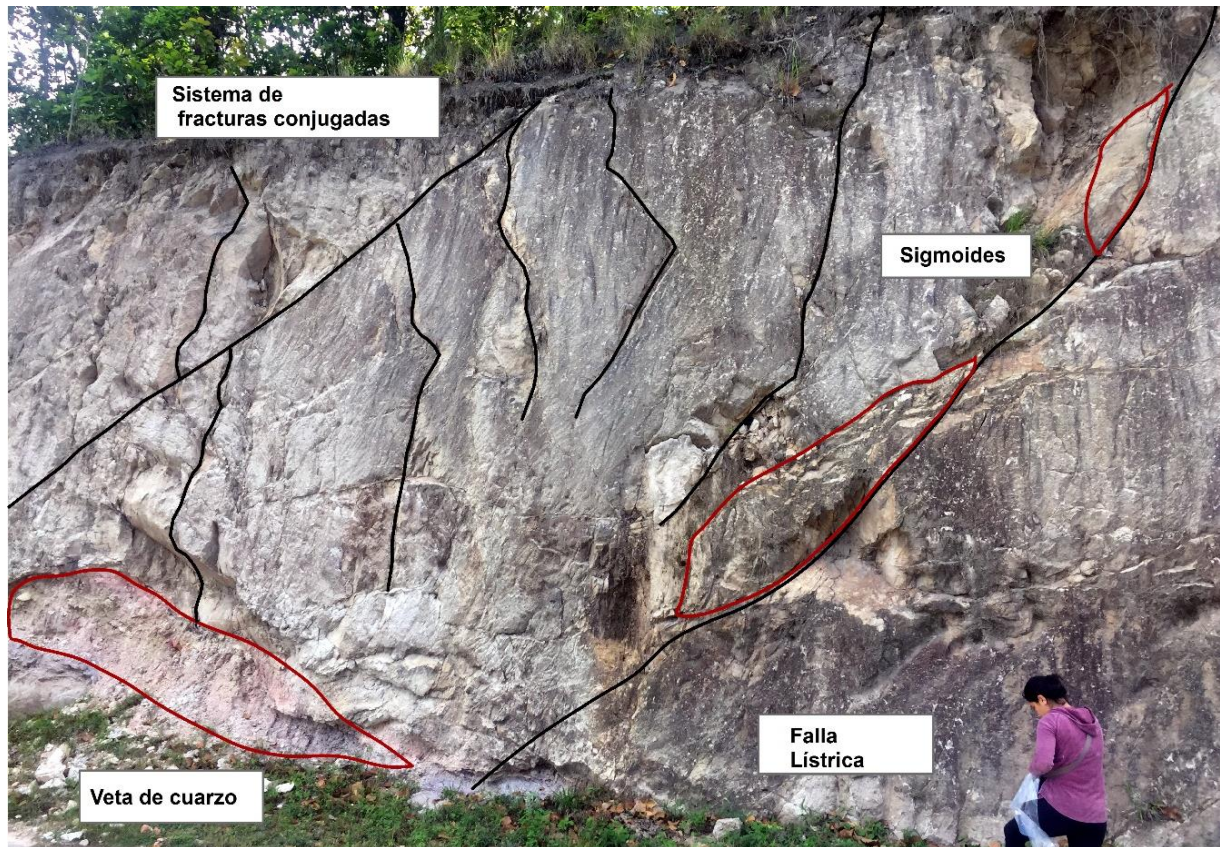


Foto 17. Esquema de parte de la ladera con sistemas de falla listrica, fracturas conjugadas sigmoides, veta.

Dentro de la zona de deformación se identificó una fractura que se ha ido relleno de cuarzo (SiO_2), típico de una mineralización secundaria o diagénética (Foto 18), esta presenta una dirección N 68° E.



Foto 18. Veta de cuarzo de un corte de la ladera.

De igual manera a lo largo de la ladera se continuo identificando otros indicadores de deformación como estructuras en domino las cuales se encuentran rotando en sentido contrario a la manecillas del reloj todo el bloque (Foto 19).



Foto 19. Estructuras en domino rotando el bloque con una caída hacia el SW y sigmoides horizontales.

La presencia de estas estructuras en toda la ladera se considera el factor principal al momento de desencadenar un movimiento de remoción en masa puesto que durante el periodo de lluvia el agua penetra dentro de las fracturas y provoca un cambio en el peso original de la ladera, aumentando su gravedad, así el material se desprende con mayor facilidad en disposición al plano de falla.

Geomorfología

Marshall, 1876, propuso un sistema de provincias fisiográficas de Centro América, en las cuales caracterizó el paisaje general y proporcionó una visión de las formas de relieve características y procesos geomorfológicos que definen cada uno de las provincias fisiográficas.

La Provincia de Tierras Altas de Chortis fue descrita como un altiplano extenso y disecada meseta que se extiende desde el oeste de Guatemala, a través de Honduras y El Salvador, hasta norte de

Nicaragua. El área de estudio de encuentra dentro de la sub provincia de Tierras Altas de Chortis asignada como Tierras altas diseccionadas del este ubicada en Honduras y Nicaragua, abarcan un paisaje montañoso escarpado que enfrenta las tierras bajas del Caribe de la costa de los Mosquitos. Esta región está altamente diseccionada por redes de drenaje y es atravesada por varios Ríos principales del tronco que descienden de las tierras altas interiores a la llanura costera.

Por su parte Hodgson, G., (2002). Describió que la morfología típica de las ignimbritas del grupo coyol a las que pertenecen las identificadas en el área fueron depositadas como capas horizontales con un grado medio de inclinación, dando origen a las mesetas y cuevas escalonadas con escarpes verticales constituyendo un rasgo geomorfológico muy característico de esta zona.

Clima

Según la estación Meteorológica de Las Sabanas, se registra una precipitación media anual de 1,688.3 mm, registrados hasta el año 2014, siendo el mes más seco Enero (25.4 mm) (figura 20). El periodo de lluvias abarca los meses de junio a octubre, donde se concentra gran parte de la precipitación. El mes más lluvioso es Octubre (359.9 mm). Los meses donde se tienen registradas la mayor cantidad de lluvias máxima en 24 horas son Septiembre y Octubre, el más alto registro de precipitación mensual ocurrió en Octubre de 1998 (1,111.90 mm)(figura 21).

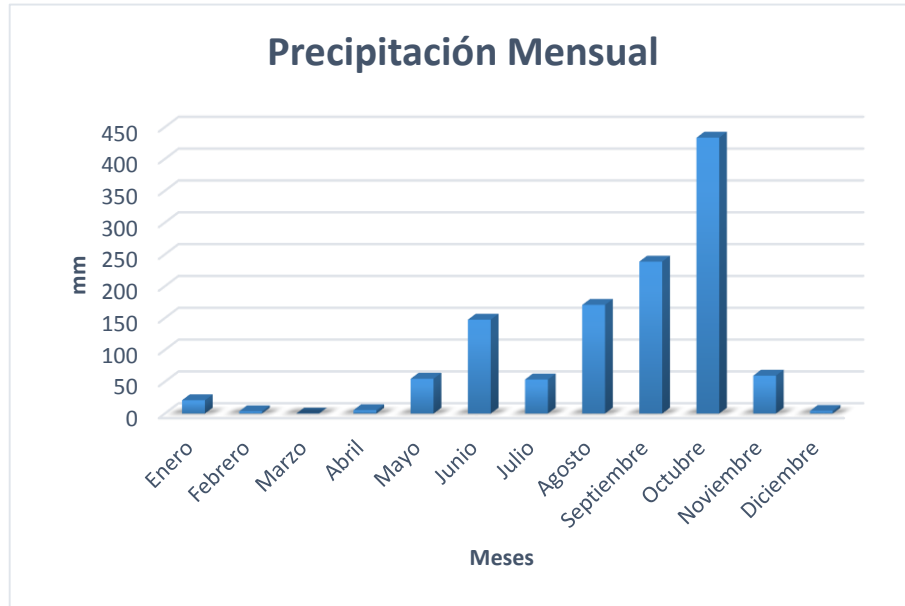


Figura 20. Cantidad de precipitación mensual durante el año 2014.

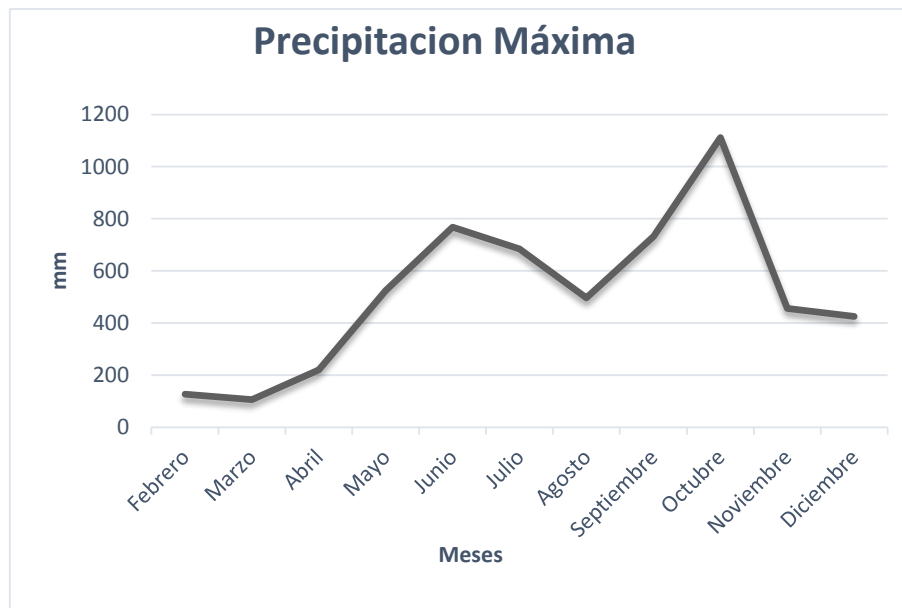


Figura 21. Precipitación máxima mensual.

4.1.1.2 Tipos de movimientos de remoción en masa

A lo largo del tramo de la carretera NN-4 Km 233-235, se realizó un levantamiento de movimientos presentes en la ladera mediante el trabajo de campo obteniendo así un total de 8 puntos (tabla 3), cabe recalcar que en el trabajo previo al campo se corroboró que el área de estudio se encuentra dentro de una zona de deslizamiento regional, lo que aporta a la presencia de estos pequeños movimientos dentro de ladera.

Para cada movimiento inventariado se tomó la localización exacta del movimiento, el tipo de movimiento, geología (litología y estructura), geometría del talud (orientación, altura y pendiente) logrando identificar movimientos de tipo traslacionales y desprendimientos de rocas, los cuales se describen a continuación:

Puntos	Coordenadas		Dimensiones		
	N	E	Distancia (m)	Altura de deslizamiento(m)	Angulo de Inclinación
1	1478819	541217	13	4	44 °
2	1478803	541255	10	5.87	40°
3	1478195	541265	9.1	5.87	50°
4	1478781	541289	28	8.35	50°
5	1478748	541294	7	2	44°
6	1478735	541302	16.7	6.75	50°
7	1478735	541302	4.2	2	50°
8	1478705	541305	22	1.5	40°

Tabla 3. Puntos de estudio.

Los movimientos de remoción en masa presentes en la ladera se identifican de la siguiente manera:

Deslizamientos traslacionales, en masa consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Suárez, 1998).

La litología identificada en estos deslizamientos corresponde a Ignimbritas meteorizadas y fracturadas características que comúnmente controlan a los deslizamientos traslacionales. Por lo general la razón entre altura y largo de la masa deslizante tiende a ser pequeña (foto 23), la

pendiente tiene un valor de 44° lo que nos indica que es una ladera inclinada dentro del rango de 20° a 50° según Copons Llorens & Tallada, 2009.



Foto 23. Se ilustra en el perfil el movimiento en masa que ocurre en parte del talud. La orientación de los árboles indicadas por flechas rojas (lado derecho) en la cabecera nos representa una característica del deslizamiento, también presenta la caída de material rocoso en la parte inferior con coordenadas 541217 – 1478819.

Se observó un deslizamiento superficial a sub-superficial de poca profundidad, el cual se produce por el desprendimiento de material no consolidado compuesto por suelo meteorizado y fragmentos de rocas altamente fracturados (Foto 24) esto juega un papel importante en cuanto a los factores detonantes del movimiento, en este caso tenemos la pendiente así como clima-precipitación asociados al movimiento.

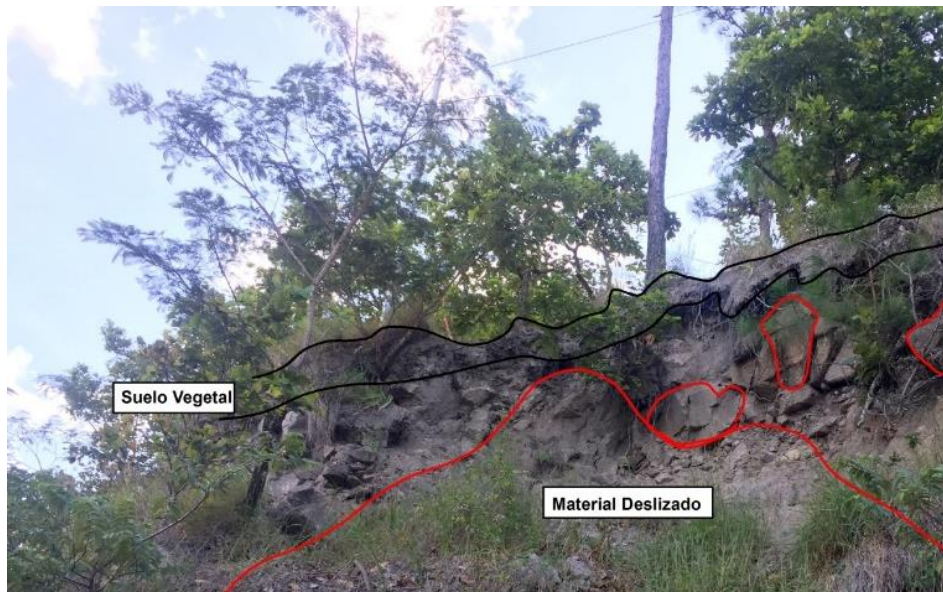


Foto 24. Se observa el deslizamiento superficial en la parte superior de la foto,, los fragmentos rocosos y la superficie de deslizamiento del material no consolidado en la parte inferior a detalle de la foto,, estos movimientos se generan en gran cantidad en la época de mayor lluvia. Coordenadas 541255 – 1478803.

Caídos o desprendimientos de roca; este movimiento ocurre cuando un material se desprende de escarpes o laderas de pendientes fuerte a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte, y desciende principalmente a través del aire por caída libre, a saltos o rodando (Suárez, 1998).

El escarpe presenta una secuencia de rocas ignimbríticas meteorizadas con un ángulo de inclinación de la pendiente de 50° y una altura de 4.5 m y 9.1 m de ancho (Foto 25), así como una

combinación de material fino y grueso, con fracturamiento de la roca que lo constituye, también es posible notar que el corte presenta una erosión considerable, lo cual ha permitido que la vegetación que se localiza en el corte quede expuesta presentando riesgo de colapso.

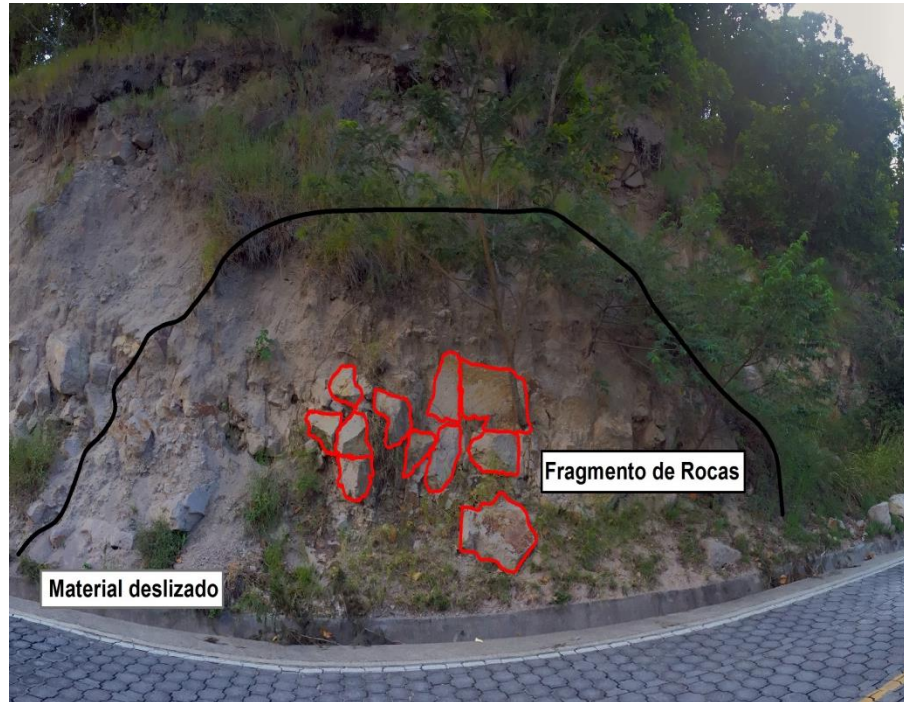


Foto 25.. Corte del movimiento de desprendimiento rocoso. En la fotografía se observa la superficie de deslizamiento con material meteorizado y fracturado en el centro y en la parte inferior el material más fino deslizado también algunos fragmentos rocosos con diámetros entre 1m a 55cm. Coordenadas 541265 – 1478195l.

La pendiente continua oscilando con un ángulo de 50° (Foto 26), con dimensiones del movimiento mayores a una altura de 8.35 m y 28 m de ancho, la disposición de los fragmentos rocosos es descendentes, los de mayor tamaño en la parte inferior y los de menor tamaño en la parte superior, los fragmentos desprendidos tienen un diámetro de 5 m.

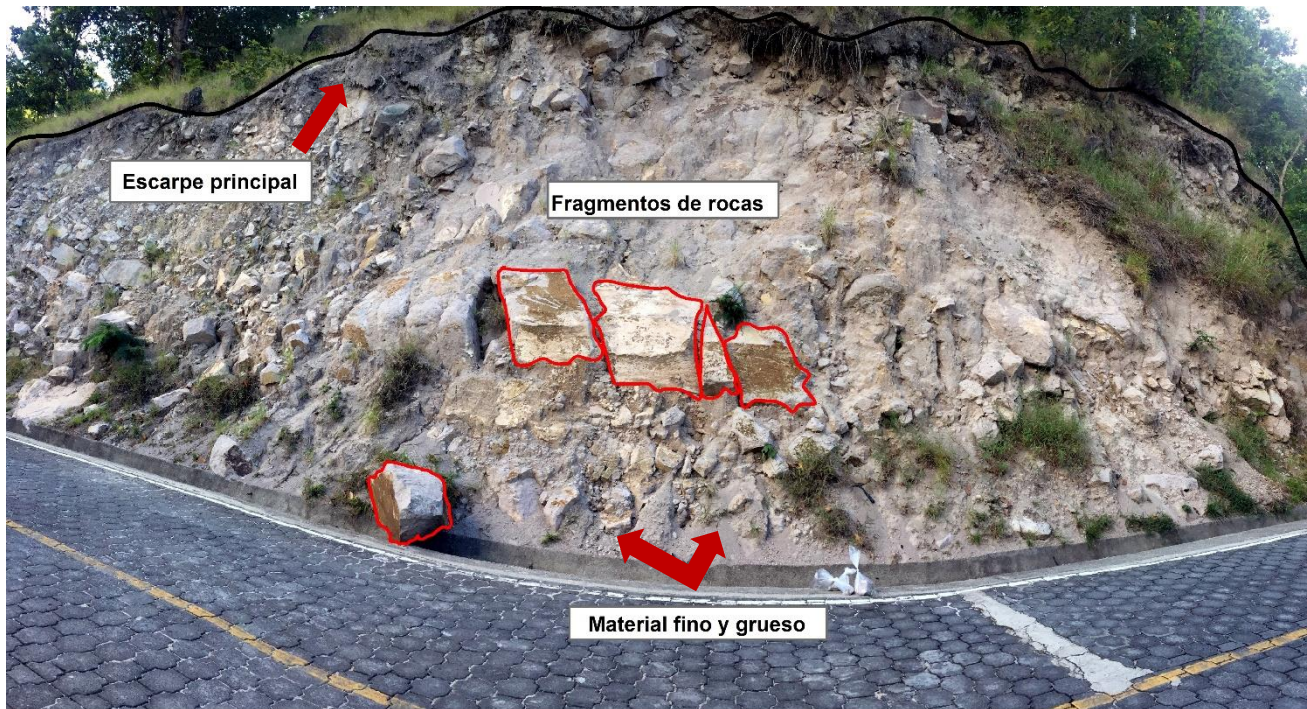


Foto 26. Sección transversal de la ladera con una longitud de 28 m, podemos observar el escarpe principal del movimiento, el desprendimiento de los fragmentos de rocas con diámetros de 2.5m así como de material disgregado debido a la erosión. Este se ubica en las coordenadas 5412770-1478781.

A lo largo del talud continua presentándose el patrón de caída de bloques en este corte (Foto 27), se observaron diferentes diámetros de bloques de ignimbrita con forma angulares en conjunto con material más fino el cual se ha desintegrado por efectos de la meteorización. También podemos observar que la parte superior compuesta por suelo vegetal, con desprendimiento de las raíces de los arboles están expuestas a caer, debido a que están en dirección al movimiento. La pendiente tiene un valor de 44° , este se ha generado de manera lenta ayudado por el factor lluvia.

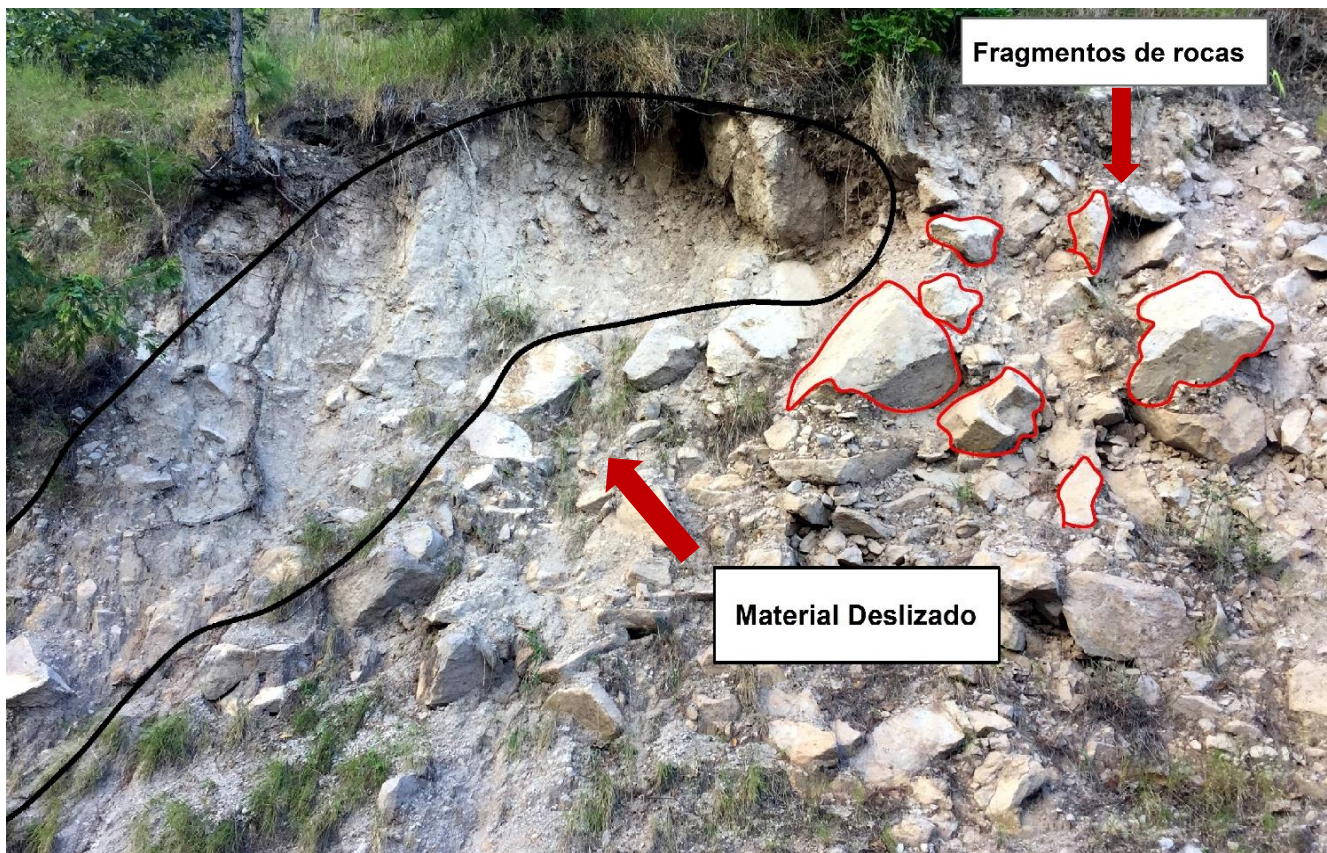


Foto 27. Corte de la ladera con presencia de movimientos de caída de rocas. Este afloramiento está conformado por Ignimbrita con una longitud de 22 m, del cual se puede observar el desprendimiento de los fragmentos rocosos influenciados por el agente de gravedad y la pendiente que oscila en una valor de 40°, también en la parte izquierda se observa para del material que se ha deslizado. Coordenadas 541294-1478748.

El escarpe del deslizamiento tiene un ancho de 7 m y una altura de 19.90 m, se encuentra con un ángulo de inclinación de 50 °(Foto 28), se sigue observando la disposición de los bloques hacia la pendiente y dentro del escarpe principal se observa un pequeño deslizamiento característico traslacional con dimensiones de 4.20 m de ancho y 5 m de altura, con una superficie de deslizamiento superficial.

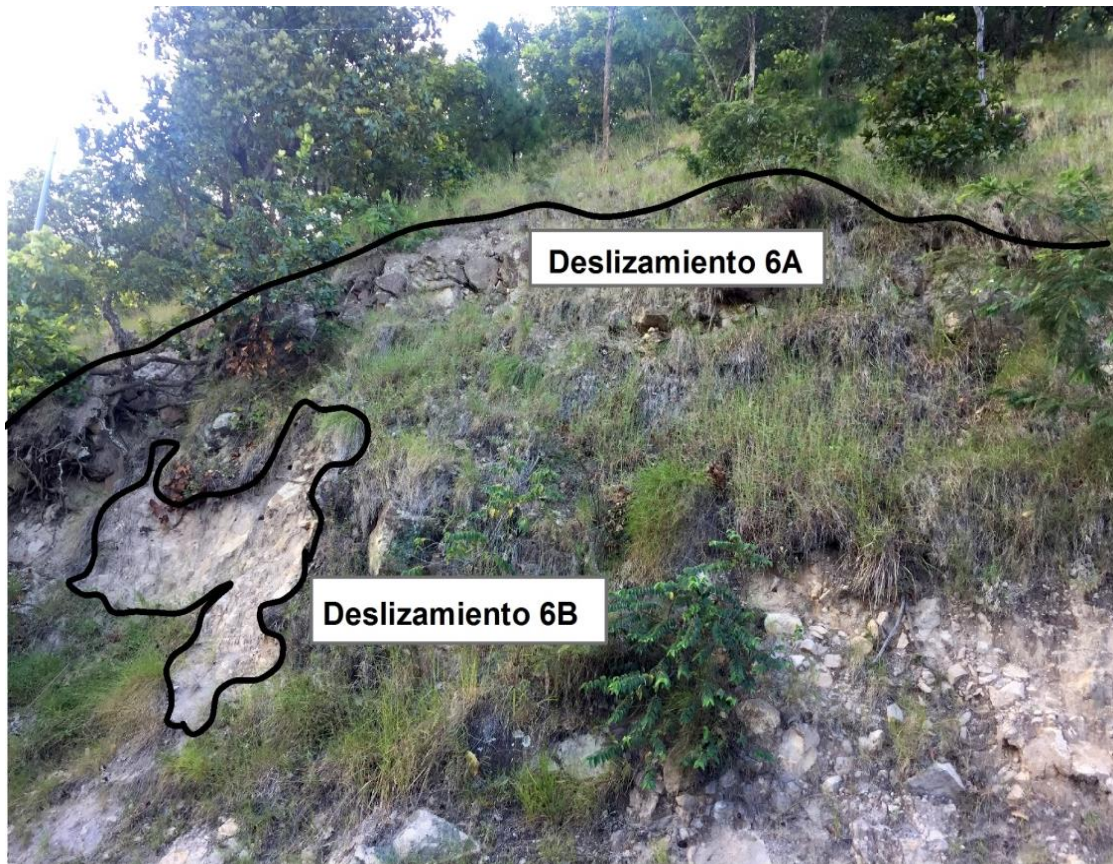


Foto 28 .Escarpe principal del movimiento(A) material desplazado en combinación de material fino hasta fragmentos de roca. Escarpe secundario (B) material deslizado. Coordenadas 541302 – 1478735.

En el corte de la ladera sigue presentando el desprendimiento de rocas, también se identificaron las ignimbritas alteradas con fracturación, lo que permite la acumulación de agua que actúa como factor detonante de este en temporadas lluviosas, esto cambia las propiedades de resistencia del material ocasionando el movimiento en masa. Este cuenta con 22 m de ancho y 8 m de alto (Foto 29), su pendiente tiene un valor de 40°.

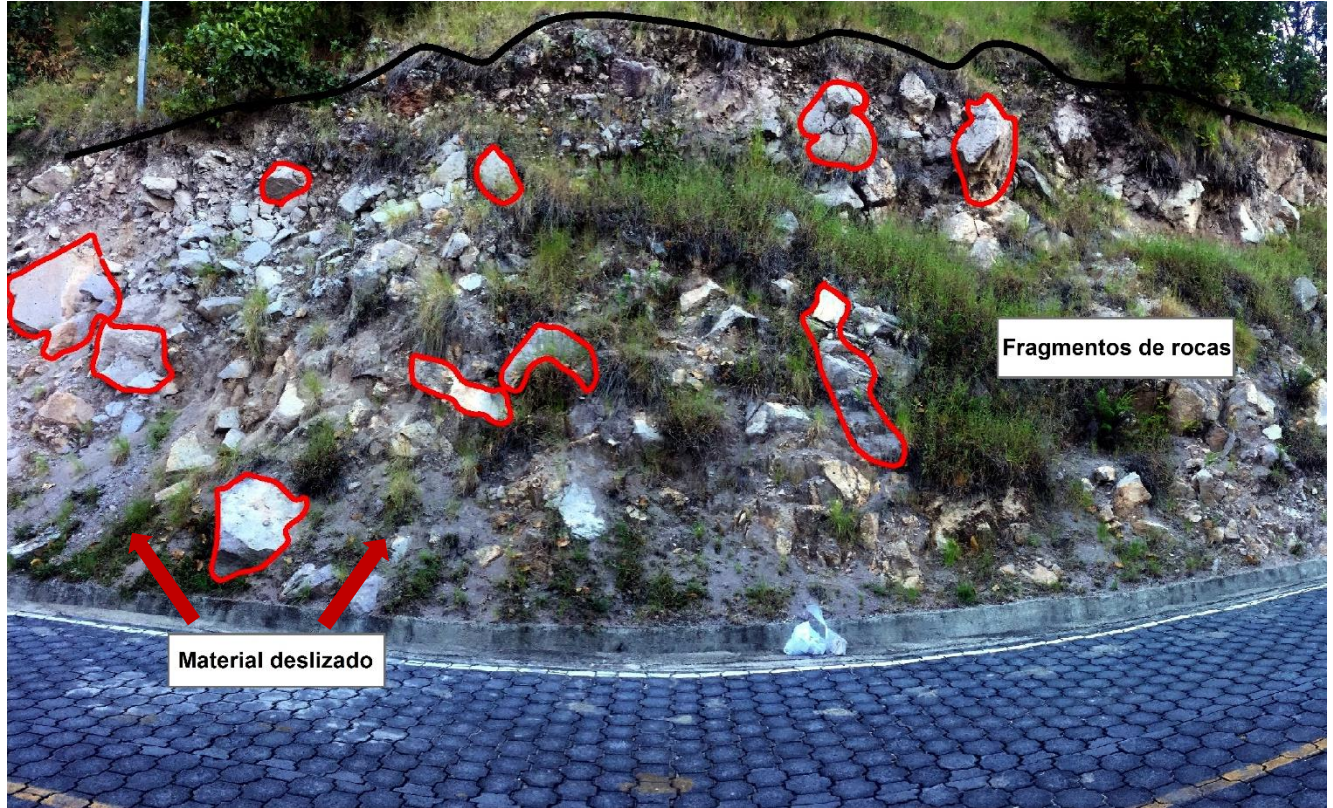


Foto 29. En esta sección transversal de la ladera, el afloramiento Ignimbrítico presenta desprendimiento de rocas fracturadas, al igual que un material más susceptible a desintegrarse producto de la erosión en el área, este se encuentra con una pendiente oscilante de 44°. La vegetación presente se encuentra descubierta debido al movimiento con grado de inclinación hacia este. Coordenadas 541294-1478748.

4.1.2 Análisis Geotécnico

4.1.2.1 Análisis Físico-mecánico del suelo

El análisis geotécnico se llevó a cabo a partir de la realización de las pruebas físico-mecánicas de las muestras recolectadas en campo en el laboratorio de mecánica de suelos del recinto RURMA. (Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés).

La ladera se caracteriza por presentar desprendimientos de rocas, en su totalidad compuesta litológicamente de Ignimbrita, la cual se presenta en forma masiva, solidificada y meteorizada dándole un aspecto poroso y débil con fragmentos finos. Debido a esta variación de partículas sin omitir que son el mismo material se hicieron análisis para ambos material fino y grueso.

Las muestras se identificaron como GEO-M-1 y GEO-M-2.

Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico consiste separar las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños Se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, se toman los pesos de cada muestra y a partir de esto se realizan diferentes cálculos que al final nos determina el tipo de suelo.

Una vez realizados los cálculos se obtuvo, conforme el Sistema Unificado De Clasificación De Suelos SUCS la muestra GEO-M-1 corresponde a una arena mal graduada con arcilla (SP-SC), estando exenta de Coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura, puesto que esta no cumple con la determinación del diámetro efectivo, por otra parte en la clasificación AASHTO se determinó que el suelo se encuentra en el grupo (A-2-7) (0) correspondiendo a material compuesto por gravas y arenas arcillosas limosas (Ver Anexo 2).

La muestra GEO-M-2 conforme a el Sistema Unificado De Clasificación De Suelos SUCS corresponde a una arena arcillosa SC encontrándose exenta de Coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, puesto que esta no cumple con la determinación del diámetro efectivo, la clasificación AASHTO determina que el suelo se encuentra en el sub grupo (A-2-5) (0) correspondiendo a material compuesto por gravas y arenas arcillosas limosas (Ver anexo 5).

Prueba de Gravedad específica

La gravedad específica de un suelo se toma como el valor promedio para granos del suelo. El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, la gravedad específica de cualquier sustancia se define como el peso unitario del material en cuestión dividido por el peso unitario del agua destilada

La gravedad específica fue calculada por medio de la ecuación:

$$Gravedad\ específica = \frac{Masa\ de\ muestra\ seca}{Volumen} \quad \text{Ecuación 9}$$

El resultado obtenido para la muestra GEO-M-1 fue 2.450 y para la muestra GEO-M-2 2.223 (Ver anexo 3 y 4).

Gravedad específica para el agregado grueso

La presencia de material fragmentos rocosos de gran diámetro permitió realizar la prueba de gravedad específica para el agregado grueso. De igual manera se aplica el principio de Arquímedes para emplear esta prueba el cual establece que cualquier cuerpo sólido que se encuentre sumergido total o parcialmente en un fluido será empujado en dirección ascendente por una fuerza igual al peso del volumen del líquido desplazado por el cuerpo sólido. .

El material presenta fragmentos de rocas de diámetro mayor a 3", por lo cual se procedió a ensayar la roca mediante la norma AASHTO T 85 la gravedad específica se obtiene mediante la fórmula:

$$Gbs\ Bruta = \frac{Masa\ seca}{Masa\ saturada\ superficialmente\ seca - Masa\ sumergida} \quad \text{Ecuación 10}$$

El resultado fue Gbs Bruta de 2.103, una Gbs Aparente de 2.387 y un porcentaje de absorción del 5.662 % (Ver anexo 7).

Prueba de límites de plasticidad

La condición física de la mezcla de suelo y agua está denotada por la Consistencia. La Consistencia se define como la resistencia al flujo, que está relacionado con la fuerza de atracción entre partículas y es más fácil de sentir físicamente que de describir cuantitativamente (Yong & Warkentin, 2002).

Para la determinación del índice de plasticidad se realiza una operación aritmética, la que incluye restar el límite plástico del límite líquido. Realizado los procedimientos se obtuvo que el material de la muestra GEO-M-1, es un material de expansibilidad media. El material de la muestra GEO-M-2 se determinó con una baja expansibilidad.

Los resultados que se obtuvieron de las dos muestras analizadas indicaron que ambas muestras se encuentran dentro del mismo rango de clasificación ya sea por la clasificación SUSC y la clasificación AASHTO, también presentaron valores similares en las demás pruebas de gravedad específica, límites de consistencia, lo que hace coincidir con su origen geológico ambas muestras pertenecen al mismo deposito variando por su estado físico una más compacta con textura gruesa la otra disgregada por la meteorización con textura fina (Ver tabla 4).

Muestra	GEO-M-1	GEO-M-2
procedencia	Comunidad de las Sabanas, Dpto. de Madriz	
Estación	234+300	233+800
Limite liquido (LL)	41	42
Limite plástico (LP)	28	34
Índice de plasticidad (IP)	12	8
Tamaño mínimo	75	50
Cu	----	----
Cc	----	----
Clasificación AASHTO	A-2-7 (0)	A-2-5 (0)
Gravedad Especifica	2.45	2.223
Ensayo realizado a roca procedente del banco de la muestra GEO-M-1(Se ensayó mediante la AASHTO T 85)		
Gravedad Especifica Bruta	2.103	
Gravedad Especifica aparente	2.387	
Absorción de agua (%)	5.662	

Tabla 4. Resultados de pruebas de laboratorio para los dos muestras analizada.

4.1.2.2 *Análisis de inestabilidad mediante el Software GeoStudio.*

El análisis de inestabilidad se basó en determinar el factor de seguridad que posee la ladera el cual es empleado en la práctica para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle a las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

En el presente trabajo utilizó uno de los programas de computación más conocidos para el análisis de estabilidad de taludes: GeoStudio. Para lograr un correcto análisis mediante el uso de la interface SLOPE/W fue imprescindible poder determinar algunos parámetros que caracterizaron la ladera como su configuración geométrica la cual se dividió en 8 secciones transversales a lo largo de toda el área de estudio (Foto 29), la composición litológica de la ladera, la que asumió que estaba compuesta por un solo estrato de Ignimbritas.

Para ejecutar el programa se identificaron los parámetros de resistencia del suelo a partir del criterio de falla Mohr – Coulomb los cuales se determinaron en base a la clasificación granulométrica realizada en laboratorio que indico que se trata de Arena Mal graduada con arcilla SP-SC. En base a esto se utilizó la biblioteca de suelos de programa GEO5 la cual da una aproximación de las propiedades del suelo en base a la clasificación SUSC.

La Cohesión vale 4 Kpa, el Angulo de fricción 26° y el Peso Unitario de 18.5 KN/m³.

También se consideraron las cargas a las que está sometida la ladera como las cargas superficiales debidas al tráfico 13.2 KN/m² y la carga sísmica(ver anexo 8), la que se determinó a través del mapa de amenaza sísmica de Nicaragua donde se tomó el valor de la aceleración de 3 m/s² correspondiente a un periodo de retorno de 475 años. El modelo se empleó en condiciones estáticas donde no se incluyen las condiciones dinámicas ni valores de precipitación.

Con toda la información antes mencionada se procedió a correr el programa y obtener los modelos del talud se utilizó el método de Bishop el que se caracteriza por ser de los más utilizados para estos cálculos, es un método fácil de desarrollar considera suelos homogéneos y superficies de falla circulares.

El análisis se basó en el modelamiento de las secciones que de la ladera (Foto 30), para cada sección geométrica se obtuvo el rango de factores de seguridad. Factor seguridad más crítico (≥ 0.7), factor seguridad más inestable (≥ 0.9) y el factor seguridad más inseguro (≥ 1.4).

El factor más crítico será aquel que con el menor valor arrojado por el programa en el momento del modelamiento, el factor más inestable será por convención inmediatamente el menor que 1 puesto que desde un punto de vista matemático 1 representa estabilidad mas no seguridad y por último el factor más inseguro será inmediatamente el menor que 1.5 puesto que por convención se establece que 1.5 es un factor aceptable para la mayoría de las obras civiles según la matrices de planeamientos internacionales, es por ello que la masa que presente un F.S menor a 1.5 debe ser considerada como amenaza.

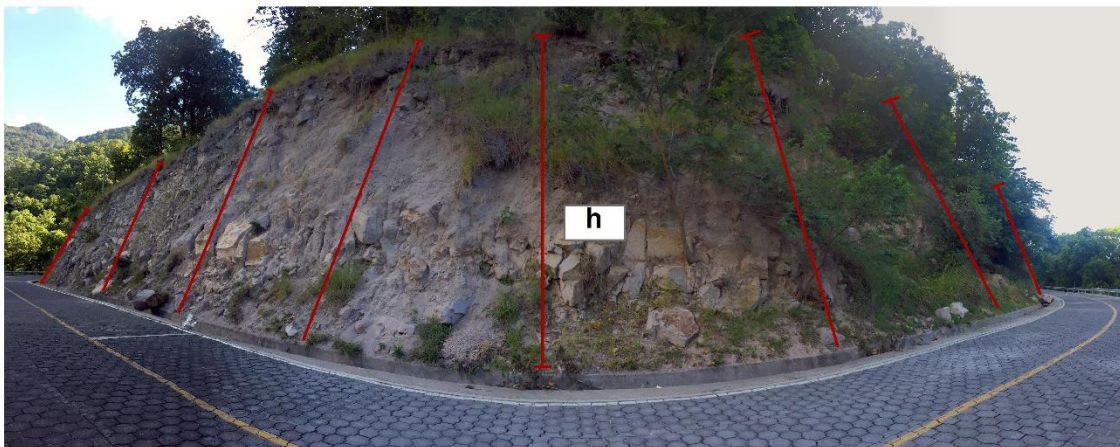


Foto 30. Secciones transversales de la ladera.

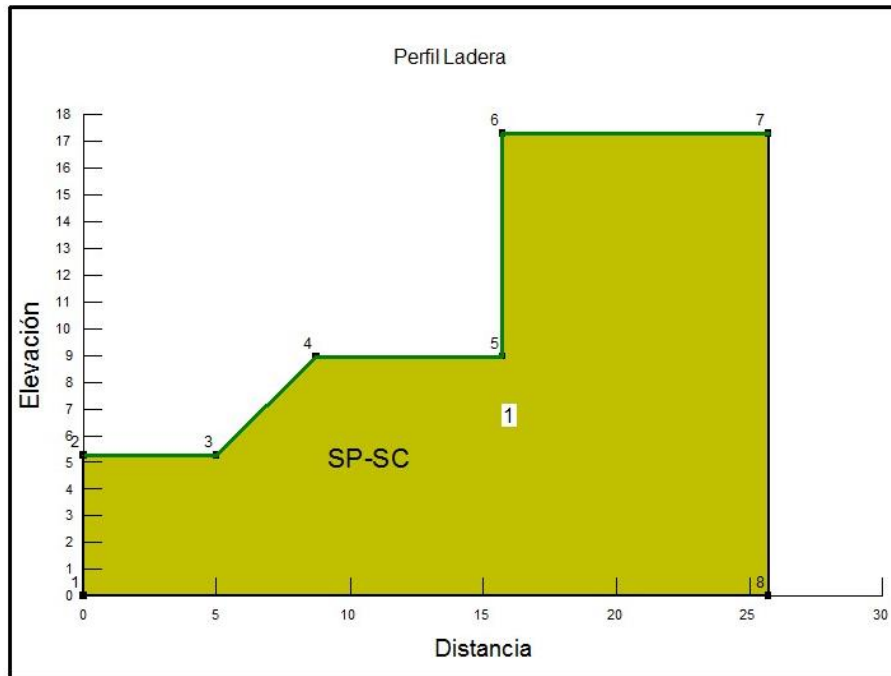


Figura 22. Perfil de ladera no modelado.

Modelaciones del punto 1.

Para realizar la modelación se consideró la configuración geométrica en este punto de la ladera, específicamente la altura del talud que corresponde a 6.75 m. Los resultados dieron las superficies de fallas con el factor seguridad más crítico (Figura 23), factor seguridad más inestable (Figura 24) y factor seguridad más inseguro (Figura 25), en todos los casos se muestra tal inestabilidad en la ladera.

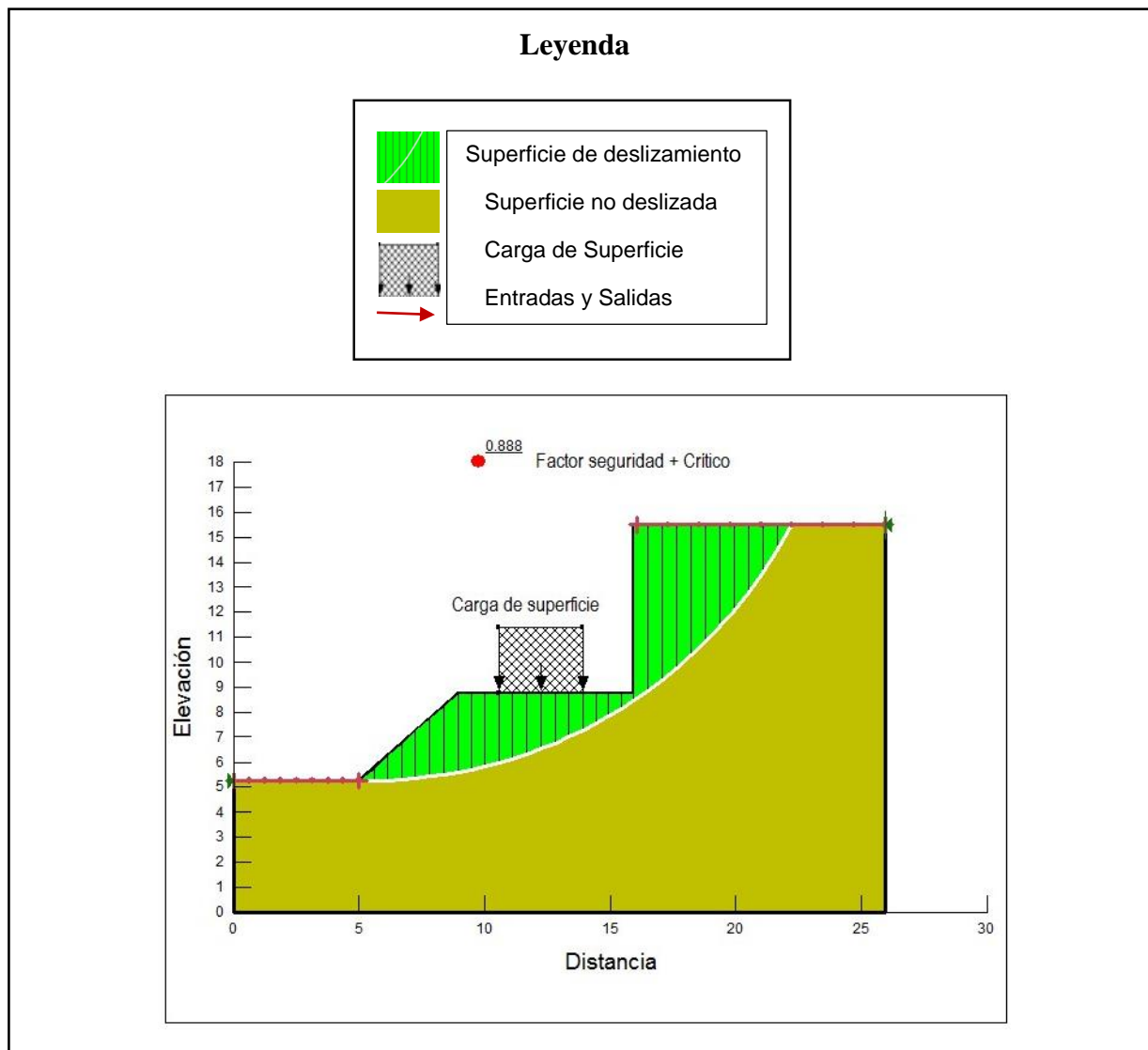


Figura 23. Modelación perfil 1.1

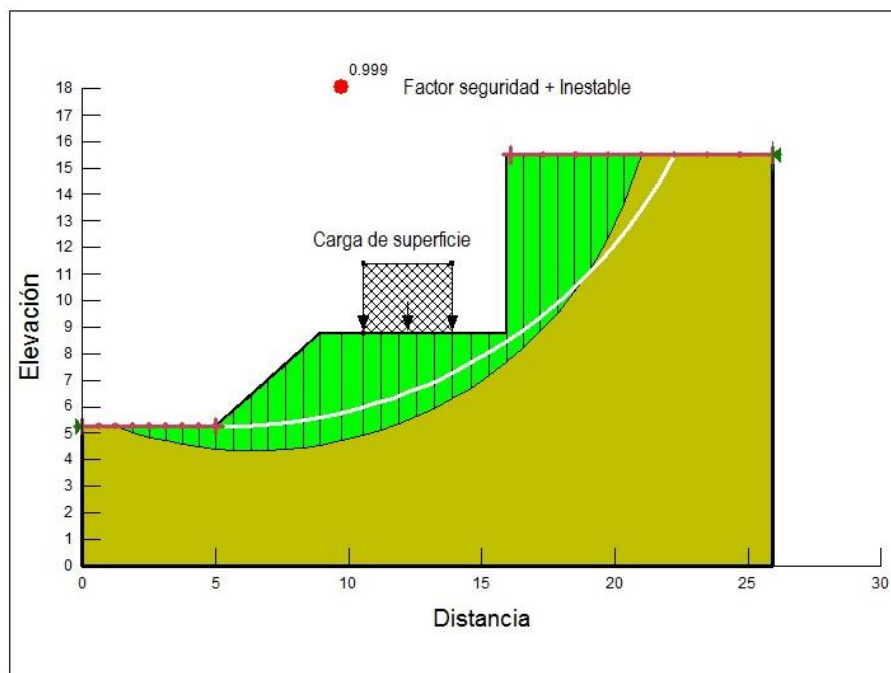


Figura 24. Modelación perfil 1.2

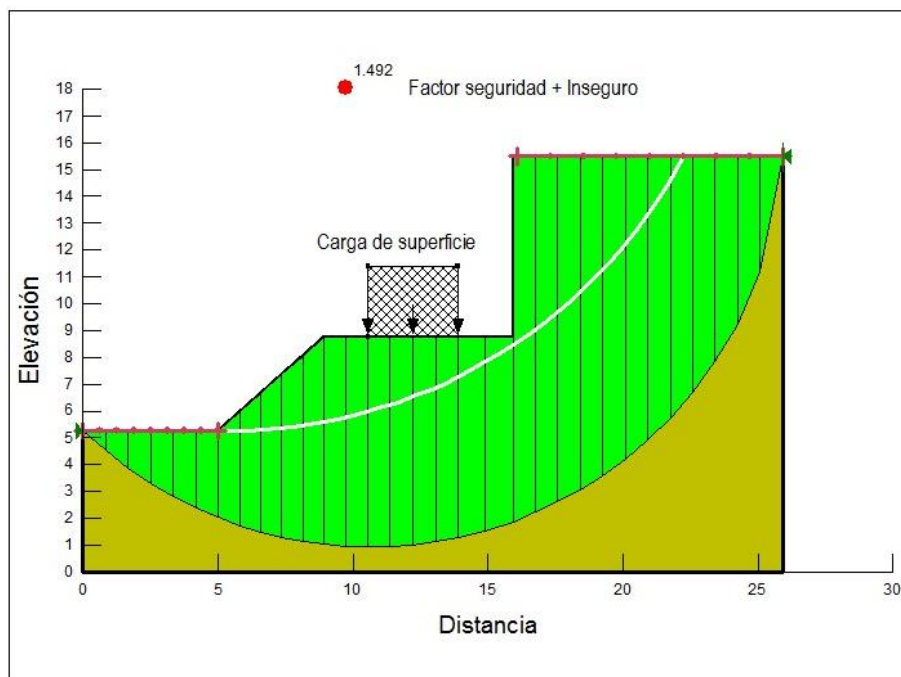


Figura 25. Modelación perfil 1.3

A través del modelamiento del punto de la sección de la ladera, se obtuvo para el factor seguridad mínimo una masa de deslizamiento con un volumen total de 46.356 m^3 y un peso total de 857.59 KN .

Modelaciones del punto 2.

En la segunda sección de la ladera igual se consideró la configuración geométrica en este punto, específicamente la altura del talud que corresponde a 5.7m . Los resultados dieron las superficies de fallas con el factor seguridad más inestable (Figura 26) y factor seguridad más inseguro (Figura 27), en esta modelación no se obtuvo el factor seguridad más crítico.

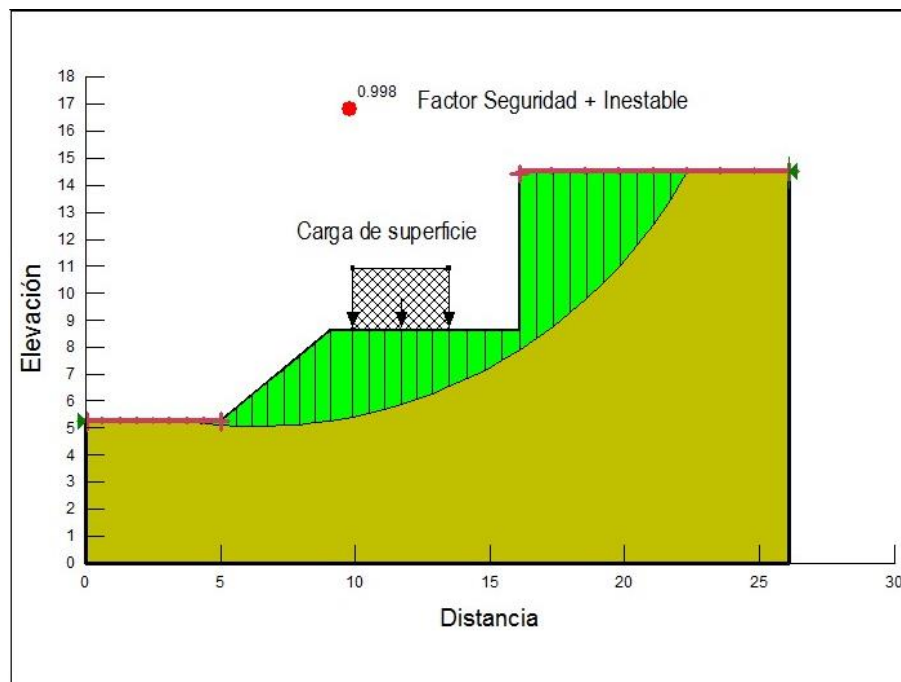


Figura 26. Modelación perfil 2.1

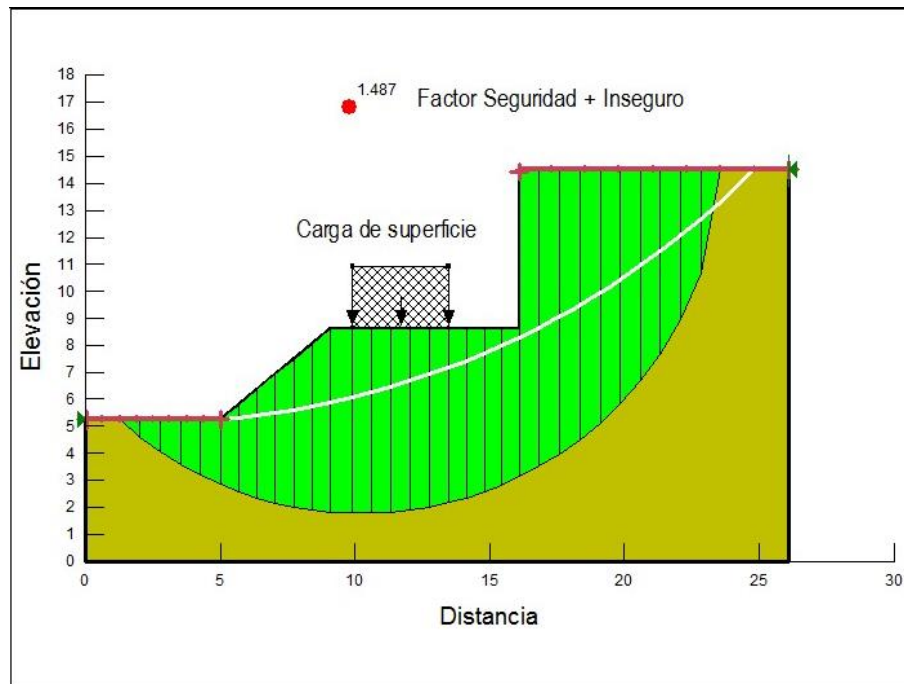


Figura 27. Modelación perfil 2.2

Para el factor seguridad más crítico se obtuvo una masa de deslizamiento con un volumen de 44.757 m^3 y un peso total de 883.47 KN.

Modelaciones del punto 3.

En este punto se presenta la altura máxima de la ladera de 8.34 m. Los resultados obtenidos de la modelación dieron las superficies de fallas con el factor seguridad más crítico (Figura 28), factor seguridad más inestable (Figura 29) y factor seguridad más inseguro (Figura 30), para todos los casos se da el escenario de inestabilidad.

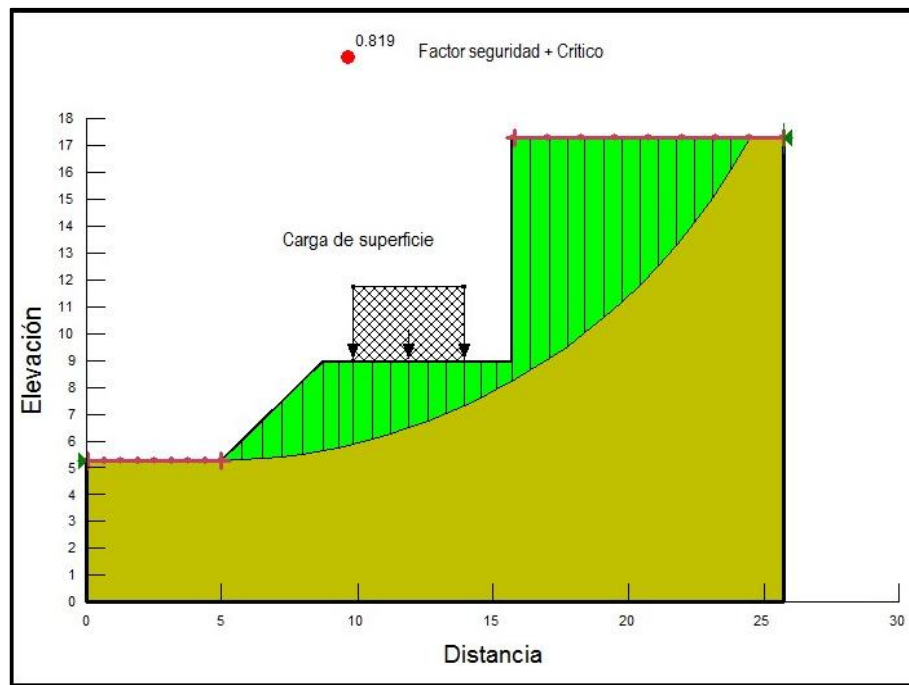


Figura 28. Modelación perfil 3.1

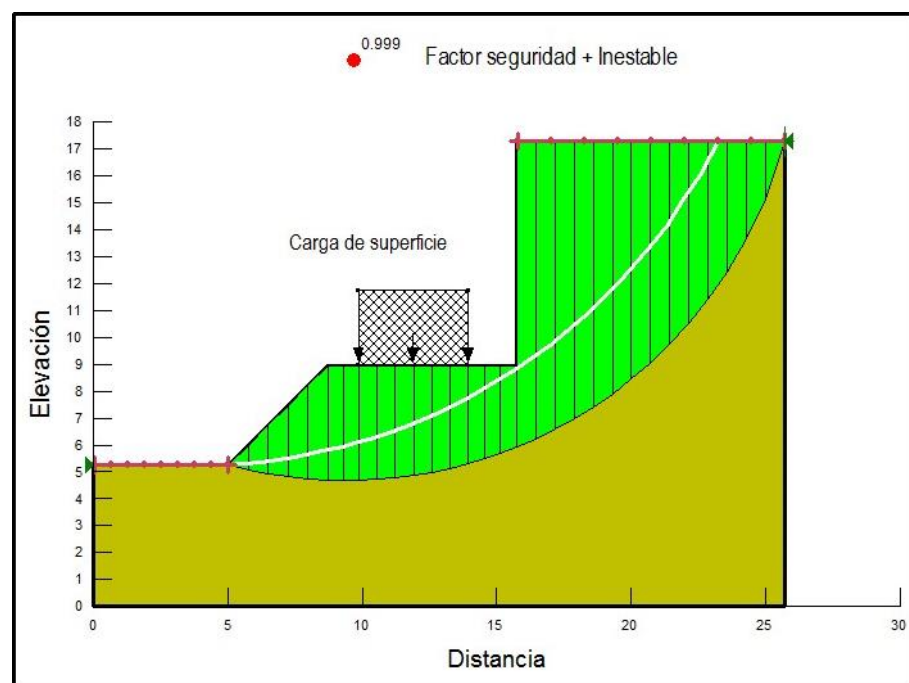


Figura 29. Modelación perfil 3.2

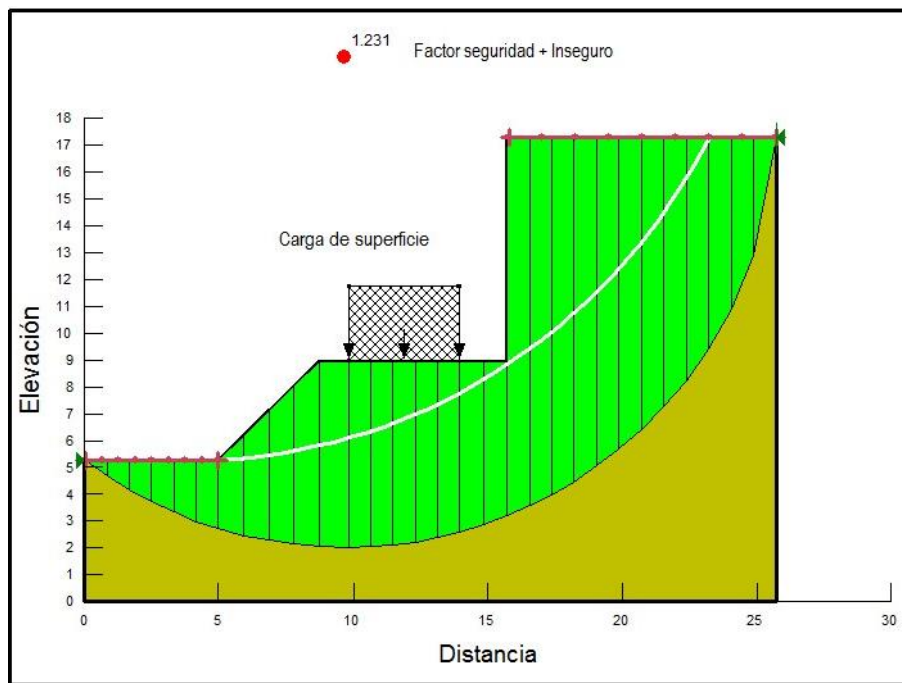


Figura 30. Modelación perfil 3.3

Para el factor seguridad más crítico se obtuvo una masa de deslizamiento con un volumen de 69.123 m^3 y un peso total de 1,278.8 KN.

Modelaciones del punto 4.

En la sección 4 se mantiene la misma altura del talud de 8.34, debido a la variación de la inclinación en este punto de ladera se arrojan diferentes valores en los factores de seguridad obteniendo así el factor seguridad más crítico (Figura 31), factor seguridad más inestable (Figura 32) y factor seguridad más inseguro (Figura 33).

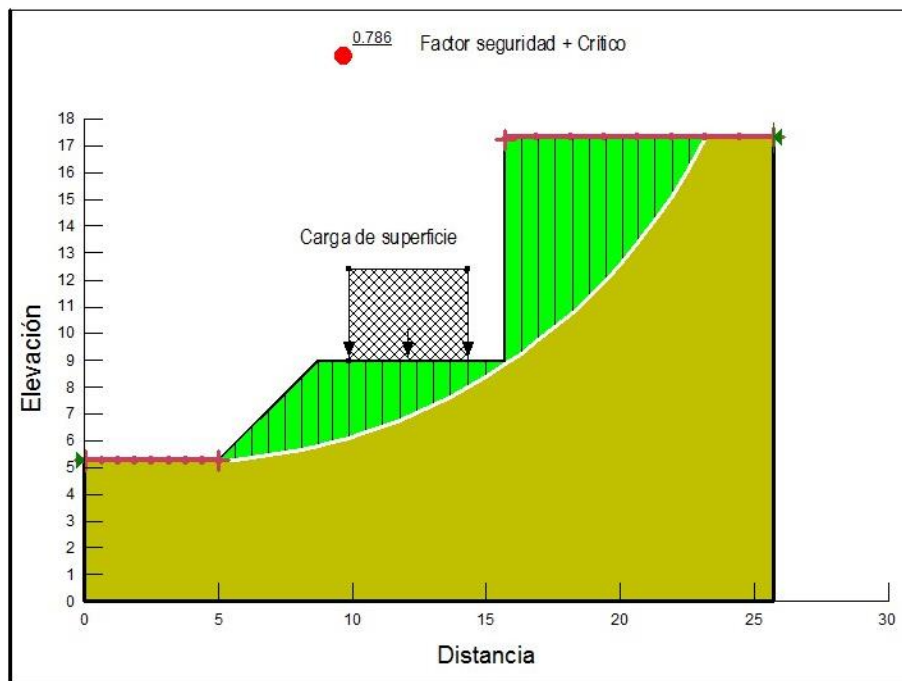


Figura 31. Modelación perfil 4.1

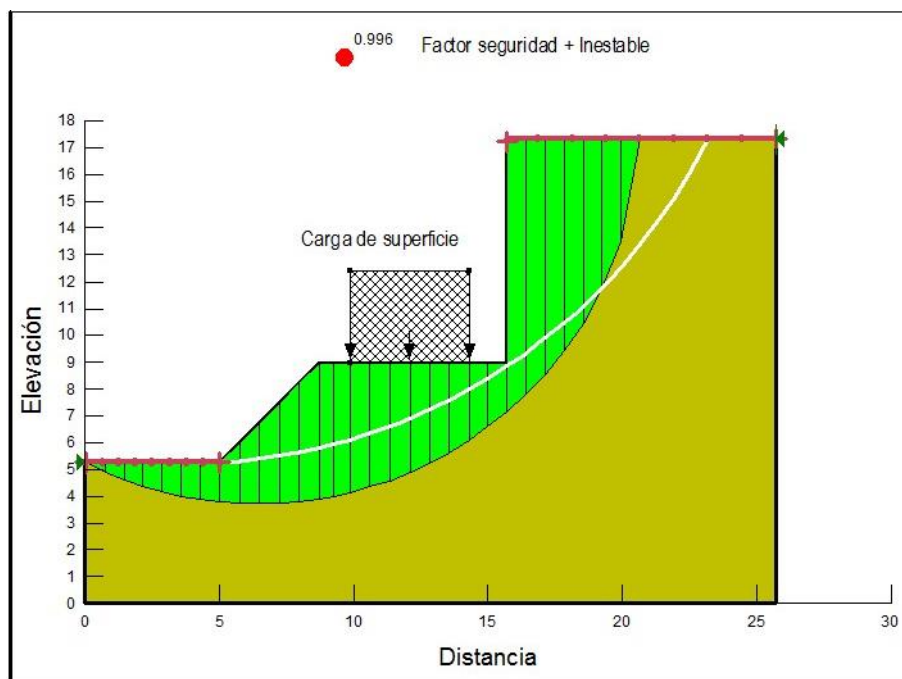


Figura 32. Modelación perfil 4.2

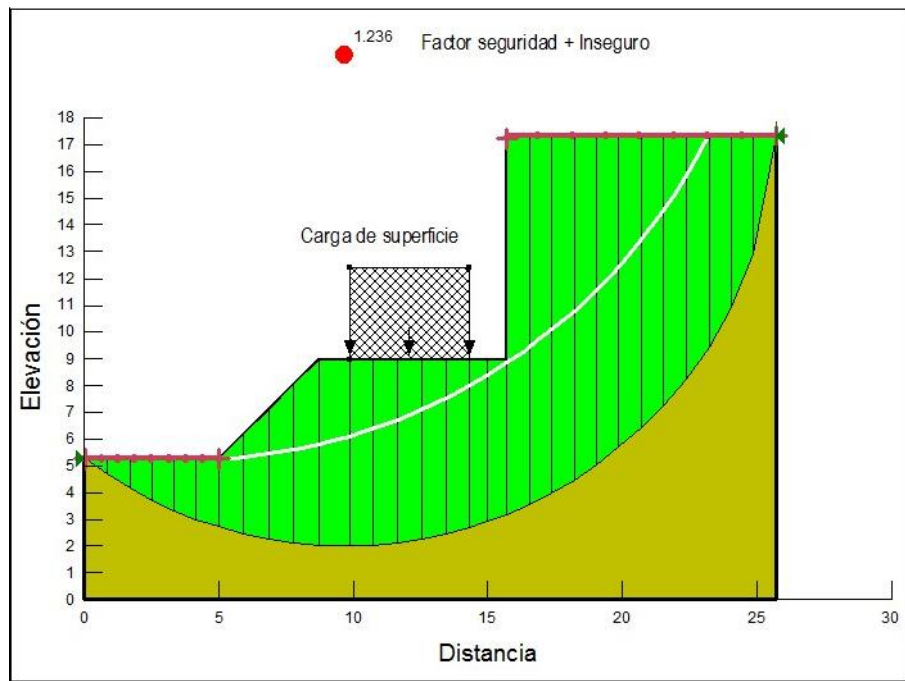


Figura 33. Modelación perfil 4.3

Para el factor seguridad más crítico se obtuvo una masa de deslizamiento con un volumen de 56.588 m^3 y un peso total de 1046.9 KN . En esta sección se obtuvo el valor más bajo de factor seguridad más crítico

Modelaciones del punto 5.

En la sección 5 de la ladera se repite el valor de 6.75 m de altura como en la primera sección para este caso los resultados dieron las superficies de fallas con el factor seguridad más inestable (Figura 34) y factor seguridad más inseguro (Figura 35), no se obtuvo el modelo ara el factor seguridad más crítico.

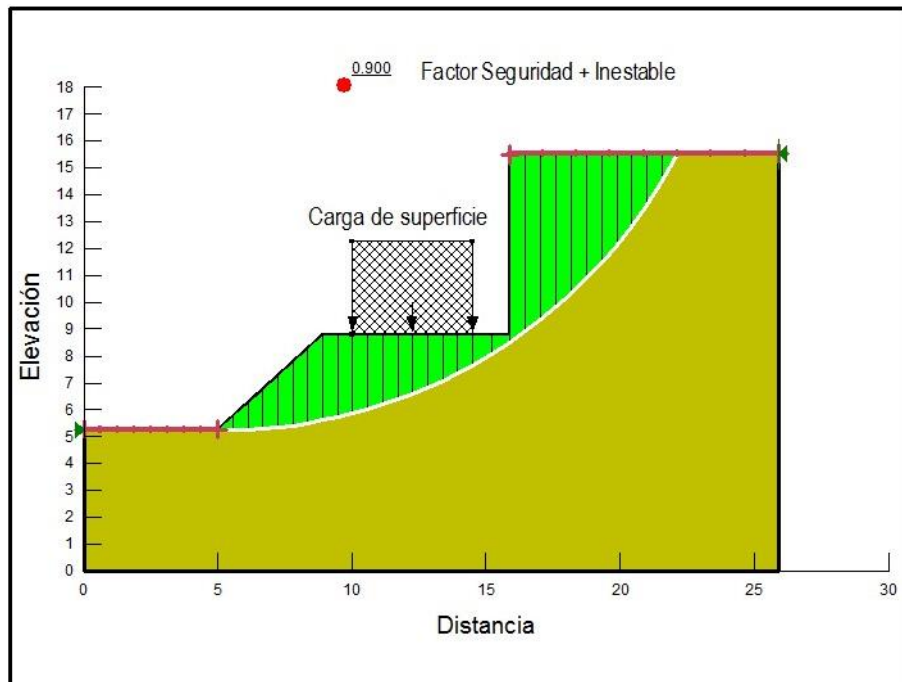


Figura 34. Modelación perfil 5.1

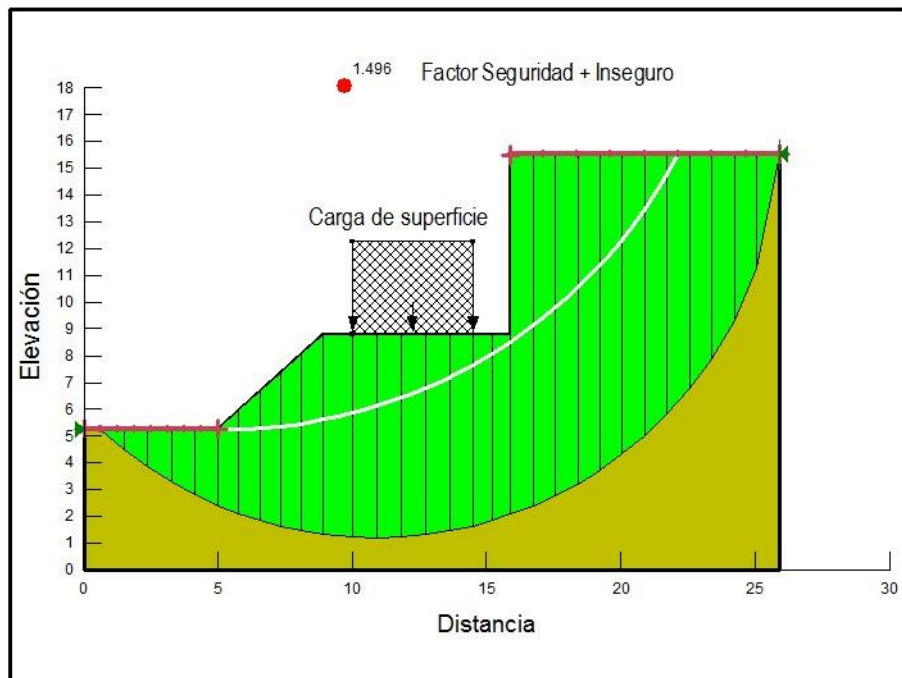


Figura 35. Modelación perfil 5.2

Para el factor seguridad más inestable se obtuvo una masa de deslizamiento con un volumen de 47.771 m^3 y un peso total de 846.77 KN .

Modelaciones del punto 6.

La sección 6 se mantiene la altura con mayor valor de 8.34 m . Los resultados mostraron la superficie de falla con el factor seguridad más inestable (Figura 36) y factor seguridad más inseguro (Figura 37), en este caso el valor más inseguro es relativamente bajo dentro de su rango.

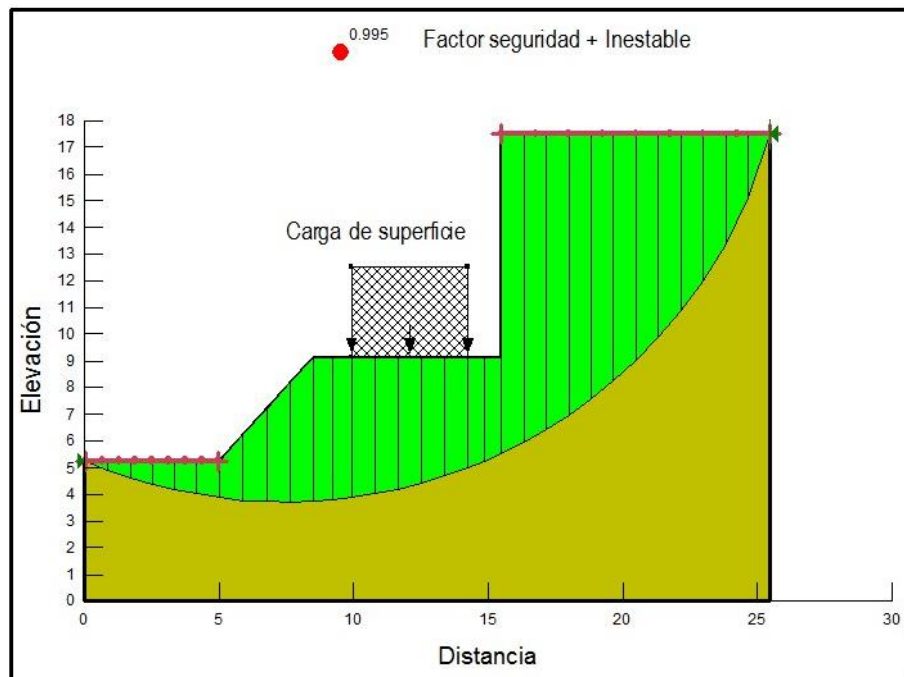


Figura 36. Modelación perfil 6.1

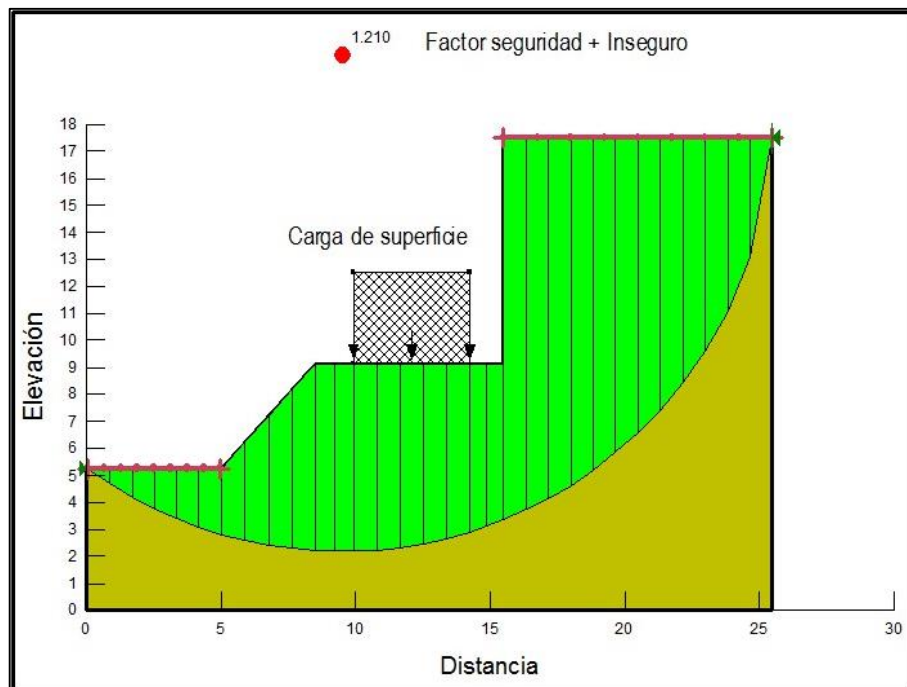


Figura 37. Modelación perfil 6.2

Para el factor seguridad más inestable se obtuvo una masa de deslizamiento con un volumen de 69.734m^3 y un peso total de 1290.1 KN.

Modelaciones del punto 7.

En esta sección la altura sigue estando en el valor más alto de 8.34, al igual que en la sección 6 se presenta el valor más bajo para la superficie de falla con el factor seguridad más crítico (Figura 38), también el factor seguridad más inestable (Figura 39) y factor seguridad más inseguro (Figura 40) con un valor relativamente bajo dentro de su rango.

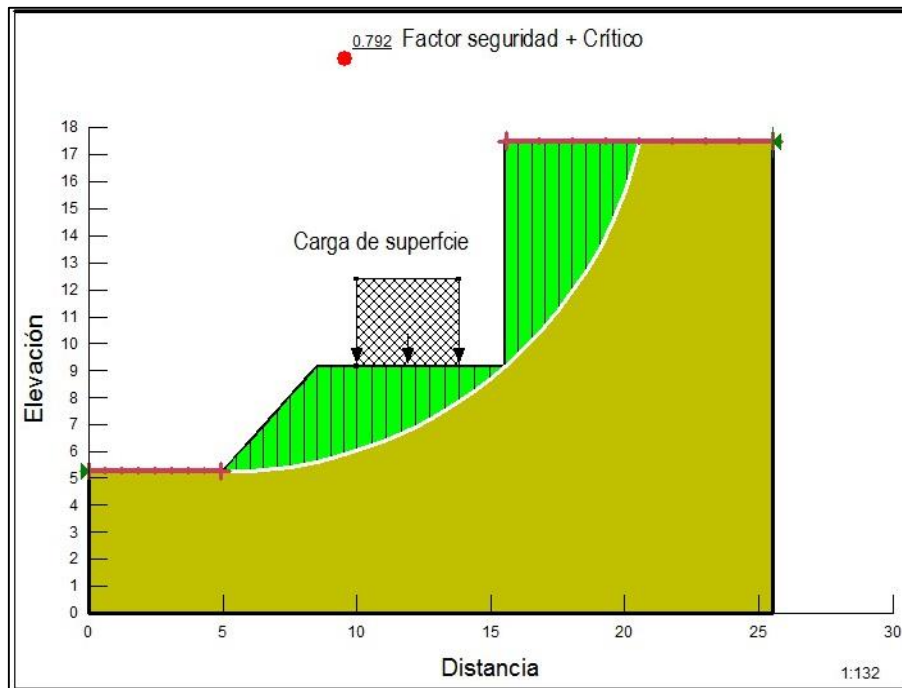


Figura 38. Modelación perfil 7.1

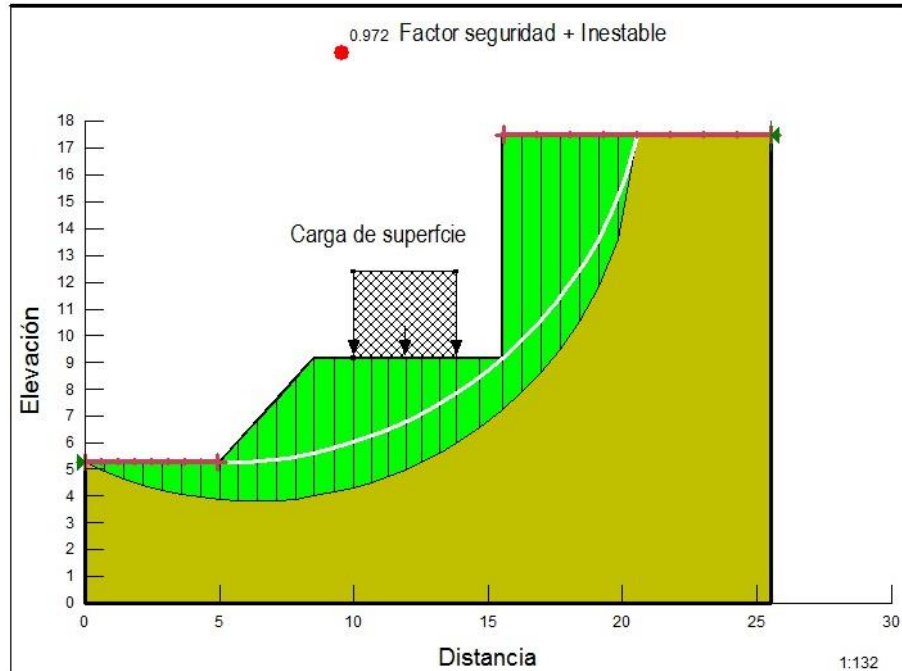


Figura 39. Modelación perfil 7.2

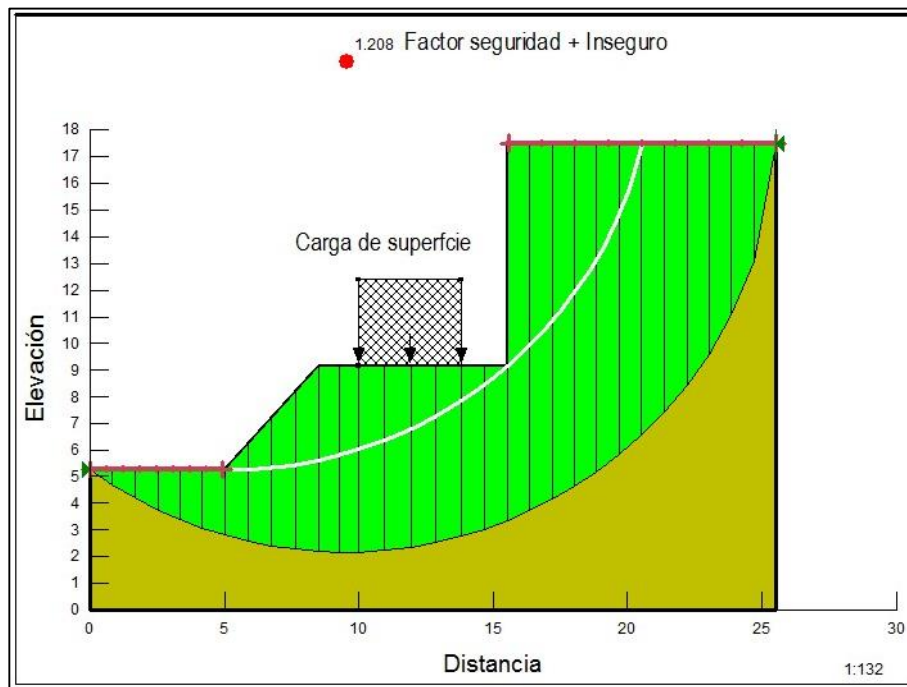


Figura 40. Modelación perfil 7.3

Para el factor seguridad más crítico se obtuvo una masa de deslizamiento con un volumen de 47.445m^3 y un peso total de 877.72 KN

Modelaciones del punto 8.

En la última sección de la ladera la altura alcanzo el valor más bajo de 5.87 m, en este punto se obtuvieron las superficies de fallas con el factor seguridad más inestable (Figura 41) y factor seguridad más inseguro con el valor más alto para este rango (Figura 42).

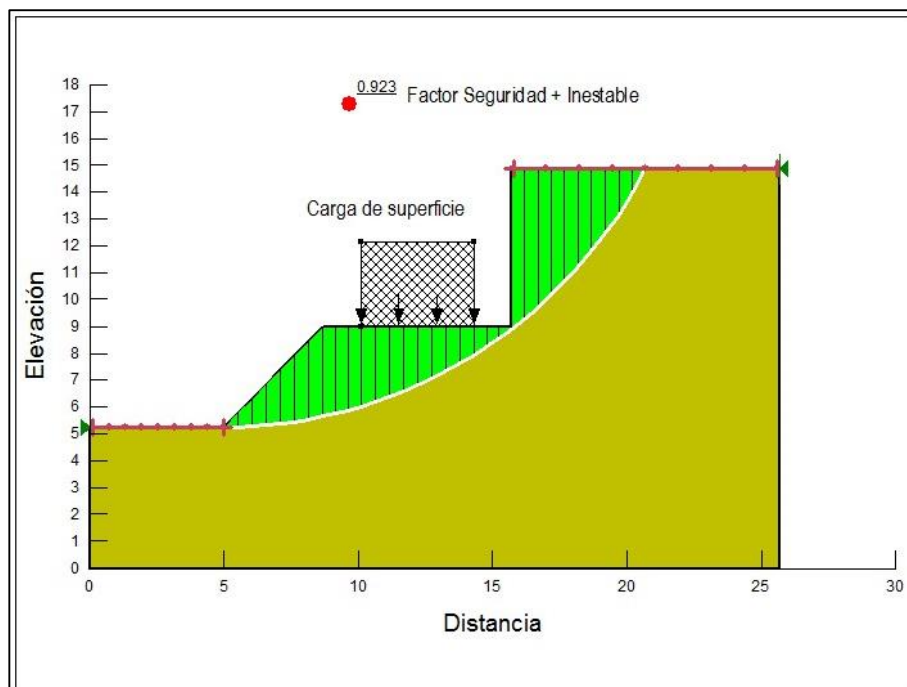


Figura 41. Modelación perfil 8.1

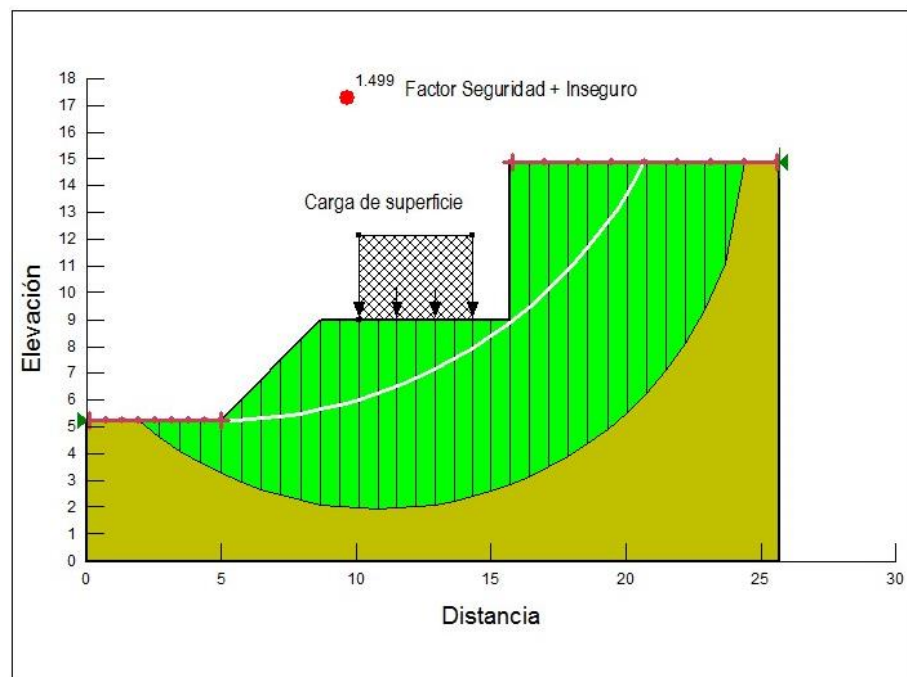


Figura 42. Modelación perfil 8.2

Para el factor seguridad más inestable se obtuvo una masa de deslizamiento con un volumen de 37.935m^3 y un peso total de 701.8 KN.

Las esquemas anteriores corresponden a los modelamientos realizados a las 8 secciones a lo largo de ladera, estos indicaron las superficies más críticas en las mayores alturas de la ladera, y las superficies de falla más inseguras en las alturas más bajas de la ladera. Todos los modelamientos se encontraron bajo el rango de factor seguridad estable de 1.5.

4.1.2.3 Recomendaciones para la estabilización de la ladera

Ante los resultados anteriores se plantea la posibilidad de estabilizar la ladera mediante los múltiples métodos que existen, tomando en cuenta las condiciones geológicas y geotécnicas del área, se seleccionó el método más apto para llevar a cabo la modificación siendo el método de abatimiento de pendiente, debido a que se logra hacer una redistribución de las fuerzas debido al peso de los materiales, obteniéndose una configuración más estable.

El abatimiento o disminución de la pendiente es uno de los métodos más empleados para mejorar la inestabilidad, el cual consiste en la disminución de la pendiente reduce las fuerzas actuantes y adicionalmente el círculo de falla tiende a alargarse e incrementar su profundidad aumentando de esta manera el factor de seguridad.

Además, del método que se emplea en esta estudio como alternativa para mejorar la ladera, se recomiendan otras técnicas de modificación de la geometría como: Tender el talud para disminuir la pendiente, darle forma a la superficie del talud construyendo bermas o gradas para generar varios niveles de talud, remover material de la parte alta del talud para reducir la altura del talud. También pueden ser aplicables otros métodos de estabilización como utilizar trincheras, barreras y mallas ya que estos controlan el movimiento de caída de rocas el cual es este caso.

A través del software GeoStudio se modificó la geometría de las secciones de la ladera, reduciendo la pendiente con 20° menos y así se obtuvo el modelo estabilizado para cada punto con la superficie mínima de deslizamiento (Figura 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 y 50).

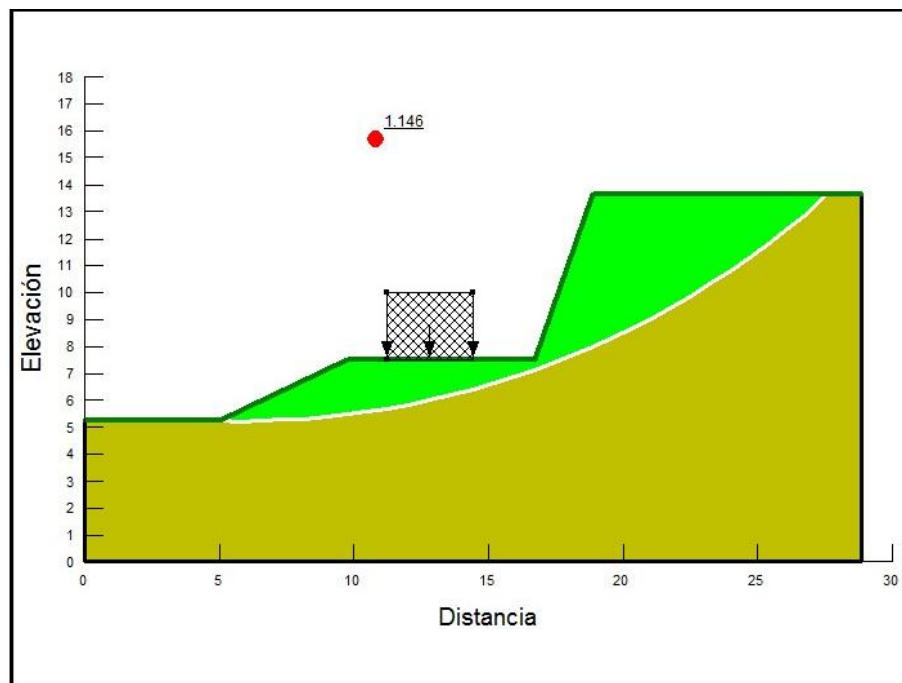


Figura 43. Modelación estabilizada punto 1.

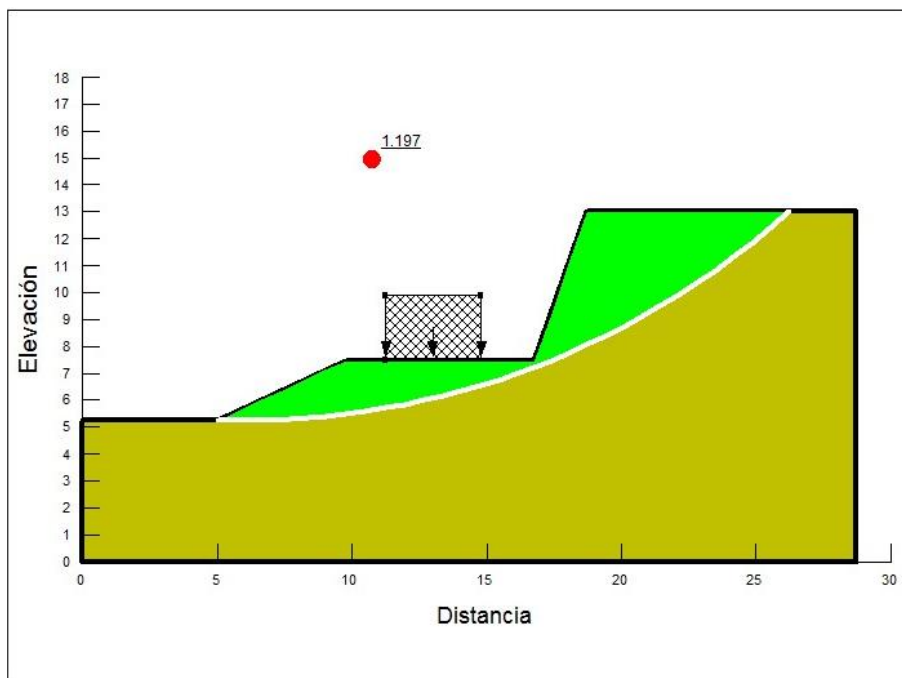


Figura 44. Modelación estabilizada punto 2.

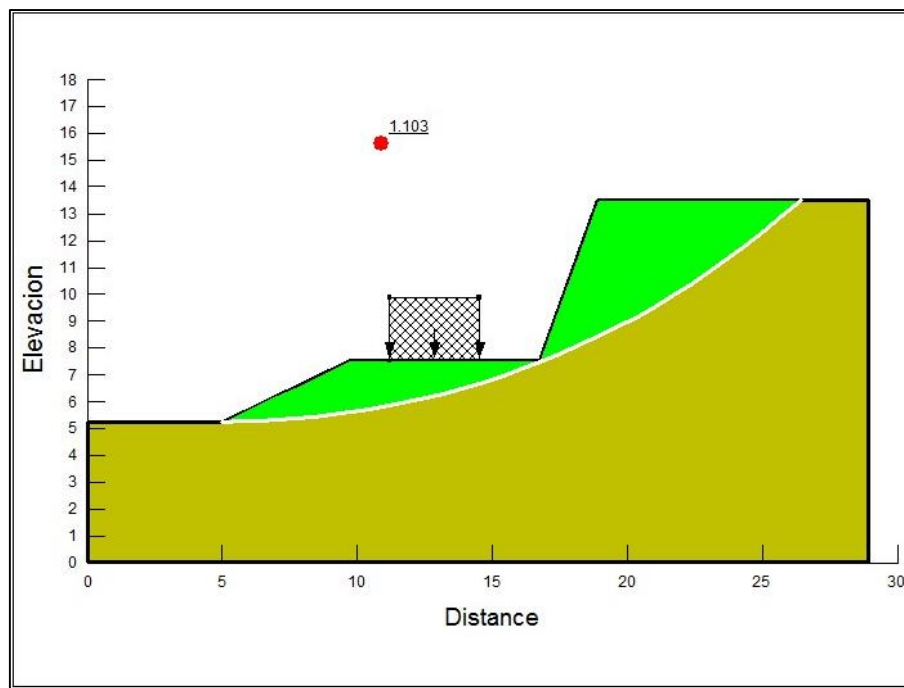


Figura 45. Modelación estabilizada punto 3.

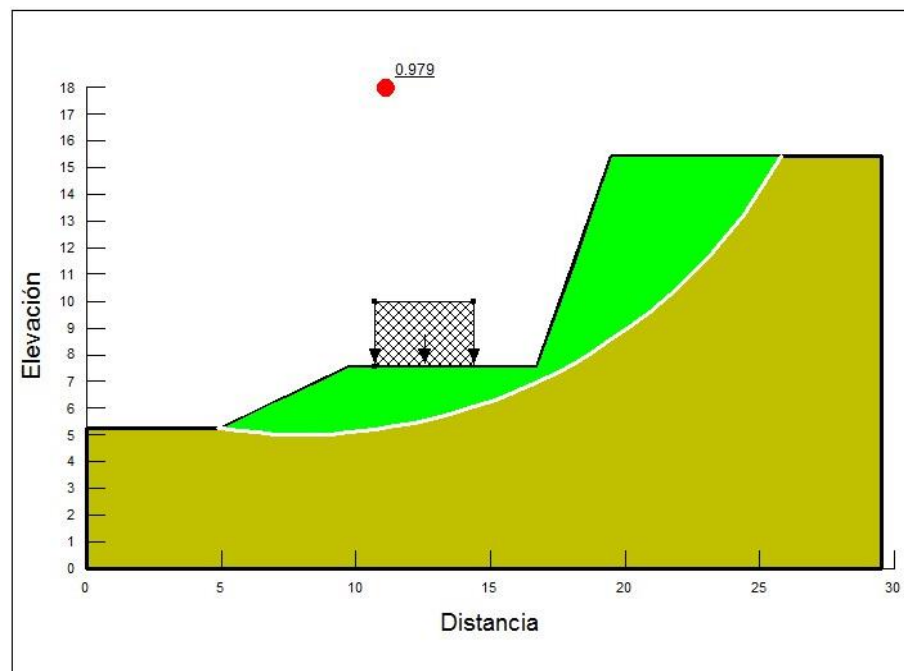


Figura 46. Modelación estabilizada punto 4.

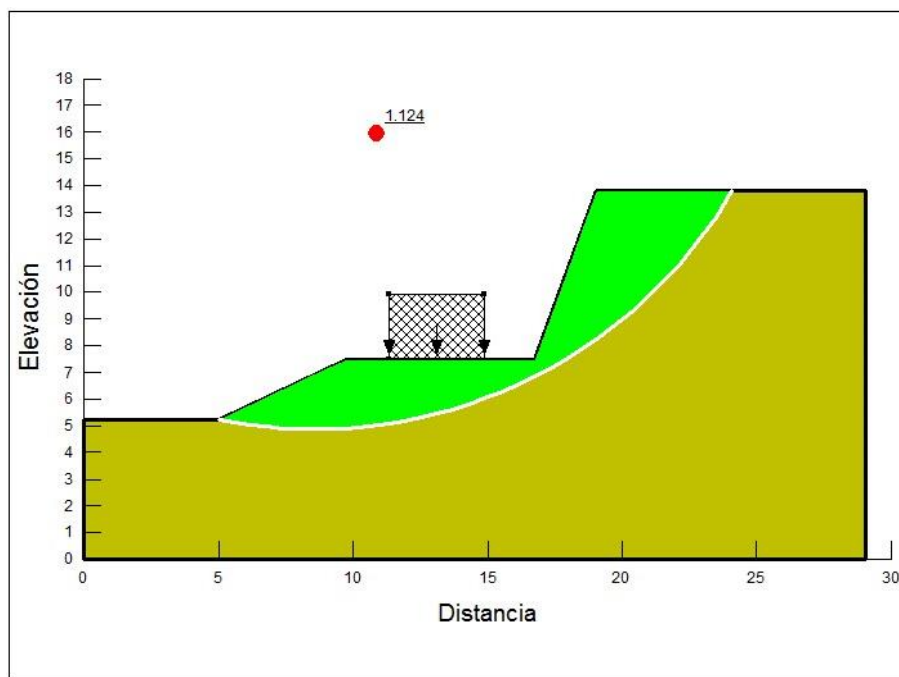


Figura 47. Modelación estabilizada punto 5.

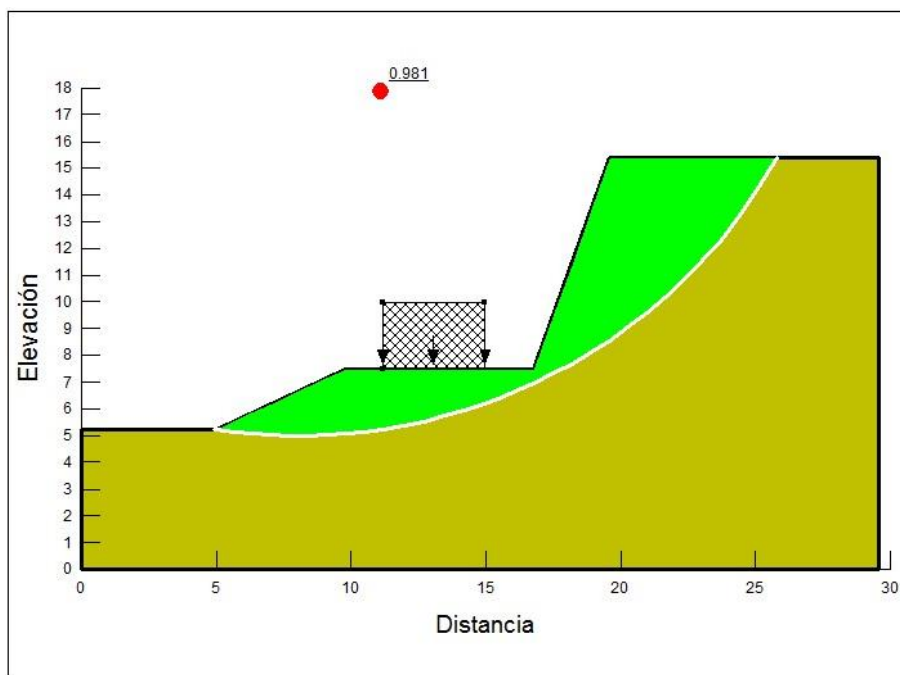


Figura 48. Modelación estabilizada punto 6.

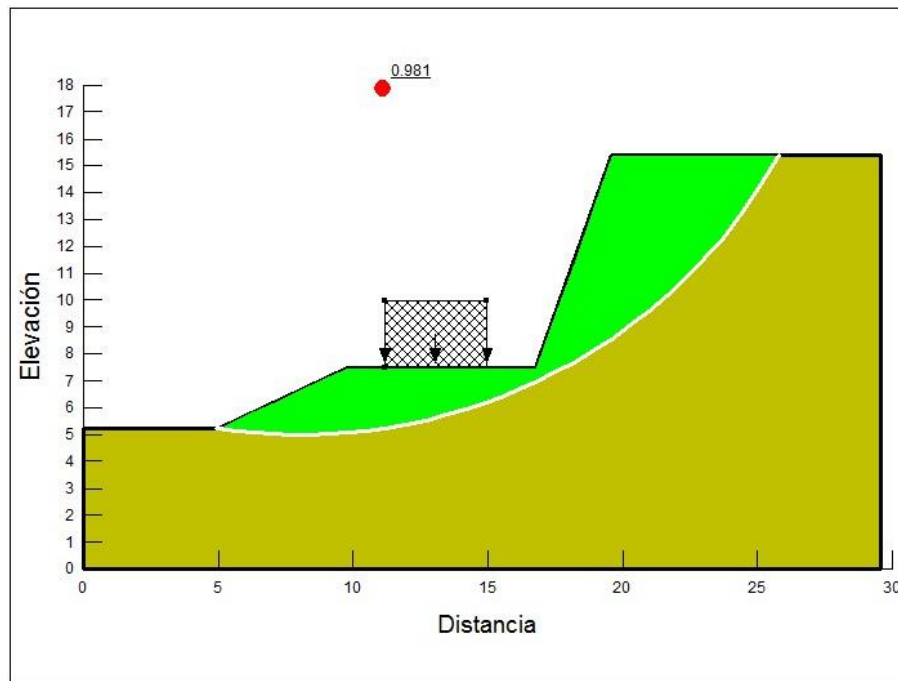


Figura 49. Modelación estabilizada punto 7.

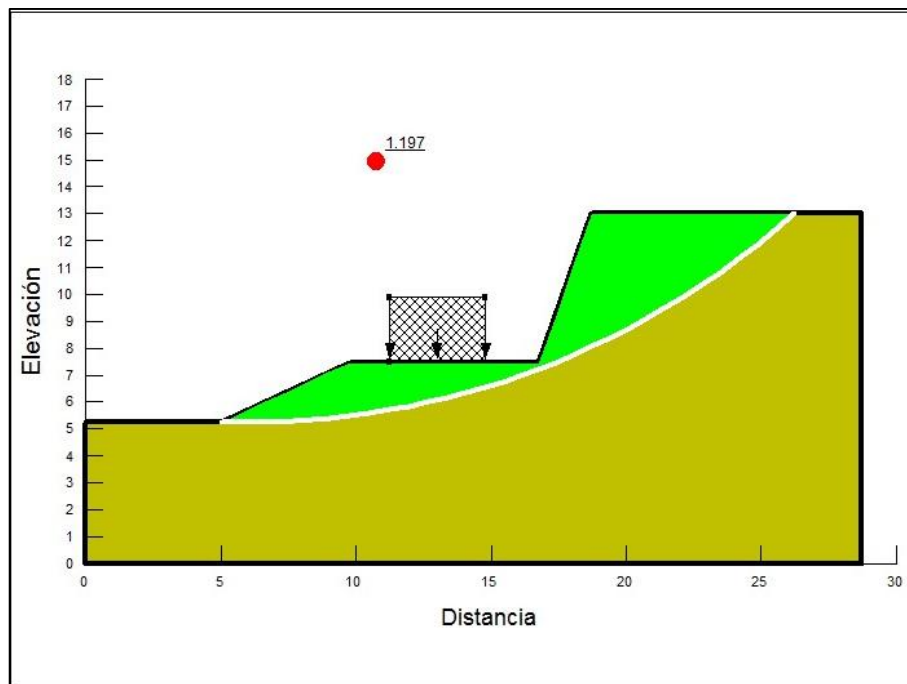


Figura 50. Modelación estabilizada punto 8.

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- Las características geológicas del talud corresponden desde la parte superior hasta la parte inferior en ignimbritas (ceniza volcánica con una composición de partículas de roca y fenocristales en una matriz de fragmentos vítreos), producto de un flujo volcánico de erupciones violentas en el área. En el levantamiento de campo se identificaron los movimientos de remoción en masa presentes, pequeños deslizamientos traslacionales y caídas de rocas con fragmentos de diámetro entre 2 y 3 m.
- Los factores condicionantes identificados en el talud fueron la geomorfología, la litología, fracturamiento de las rocas y la pendiente. En tanto el principal factor desencadenante se consideró el clima con una precipitación media anual de 1,688.3 mm.
- Los resultados de los parámetros físico-mecánicos obtenidos dedujeron que ambas muestras se encuentran dentro del mismo rango de clasificación de suelo correspondiendo a una Arena mal graduada con arcilla SP-SC. Por otra parte en la clasificación AASHTO se determinó que el suelo se encuentra en el grupo (A-2-7) y (A-2-5), correspondiendo a material compuesto por gravas y arenas arcillosas limosas, presentando comportamientos mecánicos que van de regular a pobre, por sí solo.
- El movimiento de remoción en masa no solo ocurre por la pérdida de resistencia al esfuerzo cortante del suelo sino también al alto grado de fracturamiento de las rocas el cual se convierte en el principal factor condicionante al movimiento.
- El análisis se basó en el empleo del software GeoStudio considerando las peores condiciones del sitio modelando la ladera con diferentes geometrías, para operar el programa se identificaron las características estándares del material a partir de la clasificación granulométrica realizada en laboratorio pero no se consideró las grietas de tensión optando de manera compacta el paquete de suelo e incluyendo la aceleración máxima, la que dispone ondas en todas las direcciones en un intervalo de tiempo más. Los resultados dieron el factor seguridad más crítico (≥ 0.7), factor seguridad más inestable (≥ 0.9) y el factor seguridad más inseguro (≥ 1.4). Todos los modelos coincidieron en un resultado para factor seguridad menor a 1.5.

- A partir de los resultados del análisis geotécnico y tomando en cuenta el valor de los factores de seguridad para cada corte del talud, se consideró el modelo de estabilización más apto de la ladera el método de abatimiento de la pendiente, mediante el uso del software se modificó la geometría de la ladera para lograr la estabilización de esta, obteniendo una superficie mínima de deslizamiento para el modelo estabilizado.
- Además del método planteado para estabilizar la ladera de este estudio se pueden aplicar otros métodos de estabilización como utilizar sistemas de control en el pie del talud como trincheras, barreras y mallas ya que estos controlan el movimiento de caída de rocas también pueden emplear barreras de protección como muros de concreto, pilotes, gaviones, bloques de concreto o cercas y construir cubiertas de protección.

5.2 RECOMENDACIONES

- En estudios similares a este hacer uso de herramientas topográficas como estación total con el fin de obtener datos más precisos sobre la geometría de la ladera.
- Efectuar el modelamiento dinámico para comparar los resultados de factor seguridad obtenidos con el modelamiento estático.
- Realizar análisis completos de parámetros físico-mecánicos de los suelos de la ladera.
- Determinar la resistencia a la compresión de las rocas, pues este valor nos presenta un posible escenario con mayor inestabilidad.
- Emplear en el Software de análisis de inestabilidad más de dos métodos de equilibrio límite para comparar los resultados de factor seguridad.
- En esta investigación se ejecutó el Software GeoStudio por su completo análisis, de igual manera se orienta hacer uso de otros paquetes de Software como RockFall para casos específicos de Caídas de rocas.
- Incluir datos de acelerogramas al correr el software, indican la aceleraciones de ondas en todas las direcciones.
- Tomar esta investigación como referencia para poder ejecutar futuras evaluaciones de inestabilidad de laderas en nuestro país.
- A las autoridades municipales de la zona ejecutar proyectos que incluyan métodos ingenieriles como el método propuesto en este estudio a través de la modificación de la pendiente de la ladera, así como: métodos de control en el pie del talud, trincheras, barreras y mallas que logran la estabilización, con el fin de disminuir el riesgo ante un desastre.
- Crear campañas de señalización a lo largo de la Carretera San Lucas- Las sabanas sobre el riesgo a deslizamiento que presenta el tramo Km 233-235.

5.3 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS

- Abramson, W., & Boyce, M. (2002).** Slope Stability and Stabilization method
- Alcántara Ayala, I. (2000).** Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región semiárida. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 66-75.
- ASTM C-29/C 29M-27,** Standar Test Method for Bulk density(unit Weigth) and Voids in Aggregate. American Standards of Testing of Materials.
- Ayala Carcedo , F., & Andreu, F. (1987).** Manual de Taludes. Serie Geotecnia. Madrid.
- Ayala Carcedo, F. (2002).** Riesgos Naturales . España.
- Brabb, E., & Hrrod, B. (1989).** Landslides: Extent and economic significance. Netherlands.
- Brunsden, D. (1979).** Process in Geomorphology. New York.
- Copons Llorens, R., & Tallada, A. (2009).** Movimientos de Ladera "LandsLides". Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 284-294.
- Corominas , J., & Yagüe, A. (1997).** Terminología de los movimientos de ladera. Actas del IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables.
- Cruden, D. (1991).** A simple Definition of a Landslide Bulletin of the International Association.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996).** Landslides types and processes. En: Turner, A. i Schuster (Eds.). Landslides. Investigation and mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. Washington DC,.
- Dengo, A. (1983).** Mid America: Tectonic Settings For The Pacific Margin From Southern Mexico to Northwestern Colombia. City Guatemala. Centro de Estudios Geologicos de America Central. Guatemala.
- Ehrenborg, J. (1996).** A new stratigraphy for the Tertiary Volcanic rocks of the Nicaraguan.
- Fredlund , D. G., & Krahn, J. (1977).** "Comparison of slope stability methods of analysis" 14: 429 - 439. Canadian Geotechnical Journal, págs. 429-439.

- Frischbutter, A. (2002).** Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images: Geofísica Internacional, v. 41.
- Garnica Anguas, P., & Pérez Garcia, C. (2012).** Metodología para la Gestión de Cortes Carreteros . Mexico .
- García , A. M., Hupb, L., & Palacios, J. (1996).** La obturación de valles por procesos de ladera: El origen de la Vega de Metztitlan, Mexico. Mexico.
- González de vallejo, L., Ferrer, M., Toruño, L., & Oteo, C. (2002).** Ingeniería Geológica. Madrid.
- Gutierrez Herrera, J., & Velez Villamizar, m. (2016).** Análisis probabilístico y de sensibilidad en la estabilidad de taludes utilizando la aplicación slope/w. ocaña, colombia.
- Žáček V ., Hradecký P., Hro h T., Guarín F., Pérez E. (2019):** Mapa geológico del Geoparque del Río Coco 1:100 000, Madriz Departamento , Nicaragua . - Servicio Geológico Checo , Praga ; Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO / U N AN - Managua).
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008).** The Landslide Handbook – A guide to understanding landslides. Circular 1325. U.S. Geological Survey.
- Hodgson, G. (2002).** Geología general de Nicaragua "Introducción al léxico geológico de Nicaragua". Managua.
- Hodgson, G. (2002).** Geología Histórica de Nicaragua. Managua.
- MARENA. (Martes de Abril de 2018).** Obtenido de <http://www.marena.gob.ni/index.php/macregion-norcentro/delegacion-madriz#municipios>
- Marshall, J. (1876).** La geomorfología y las provincias fisiográficas de centroamérica.
- McBirney, A. (1965).** Volcanic History of Nicaragua. Bekeley and Los Angeles.
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965).** The analysis of the stability of general slip surfaces. En Geotechnique (págs. 79-93).

- Muñiz, J. (2009).** Inestabilidad de laderas en la zona de montaña de la Ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. Jalisco, Mexico.
- Pacheco, A. (2006).** Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro. Lima, Perú.
- Parálvarez, J. D. (2005).** Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de la ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada
- Peréz de Agreda , E. (2005).** Estabilidad de Taludes. Universidad Politécnica de Catalunya.
- R, M. M., & J, M. A. (2005).** Los movimientos de ladera en la Sierra de Tramuntara de la Isla de Mallorca, tipos, características y factores condicionantes. Revista de la Sociedad Geologica de España, 87-97.
- Santacana, N. (2001).** Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a la cuenca alta del Río Llobregat. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Sharpe. (1938).** "Landslide and related phenomena. New York: Columbia Univ. Press.
- Tlaxcaltelca, A. C. (2010).** Inestabilidad en laderas y taludes.
- uárez, J. (1998).** Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas torpicales.
- UNISDR. (2013).** Informe Nacional sobre Gestión Integral del Riesgo de Desastres, Nicaragua 2013. Managua.
- Varnes, D. (1978).** Slope movement types and processes. En: Shuster, R.L. y Krizek, R.J. (Eds.). Landslides: Analisis and control. Special Report 176. Transportation Reserch Borrard.
- Varnes, D. (1978).** Slope movement types and processes.En: Shuster, R.L. y Krizek, R.J. (Eds.). Landslides:Analisis and control. Special Report 176. Transportation. Washington D:C:.
- Velez, M., & Gutierrez, J. (2016).** Análisis probabilístico y de sensibilidad en la estabilidad de taludes utilizando la aplicación slope/w. Colombia.

5.4 ANEXOS.

Glosario

NN-4- Nomenclatura establecida por MTI para carreteras.

SINAPRED- Sistema Nacional de prevención, mitigación y atención de desastres naturales.

MTI- Ministerio de Transporte e Infraestructuras.

UNISDR- Naciones Unidas para la reducción del riesgo a desastres.

Abrupto.- Término usado en geología y geomorfología para describir fuertes desniveles de terreno, sobre todo en los acantilados.

Cárcava.- Surcos formados por el movimiento de las aguas provenientes de lluvias torrenciales, alcanzando algunas veces proporciones espectaculares en los terrenos inclinados.

CEPREDENAC- Centro de coordinación para la prevención de los desastres naturales en América Central.

Cribado.- Proceso mediante el cual el viento selecciona las partículas de acuerdo a su tamaño y peso. Selección del tamaño de las partículas para el análisis granulométrico.

Diagénética -Diferenciación diagénética.- Separación y migración de las fases fluidas y sólidas durante la diagénesis.

Disección-Disecado (paisaje).- Término usado para describir el trabajo realizado por los agentes erosivos sobre un determinado paisaje. Disecar, cortar, seccionar, erosionar, son sinónimos.

INETER- Instituto Nicaragüense de estudios territoriales.


Puntos	Coordenadas		Dimensiones		
	N	E	Distancia (m)	Altura de talud	Angulo de Inclinación
1	1478819	541217	7	6.75	44 °
2	1478803	541255	7	5.87	40°
3	1478195	541265	7	8.34	50°
4	1478781	541289	7	8.34	50°
5	1478748	541294	7	6.75	44°
6	1478735	541302	7	8.34	50°
7	1478735	541302	7	8.34	50°
8	1478705	541305	7	5.87	40°

Tabla 5. Geometría de las secciones de la ladera

Datos de rosetas		
N-E	N-W	
22	78	
72	82	
60	62	
19	66	
46	16	
20	20	
68	86	
90	66	
10	52	
90		
38		
84		
22		
84		
76		
82		
90		
total de datos		28

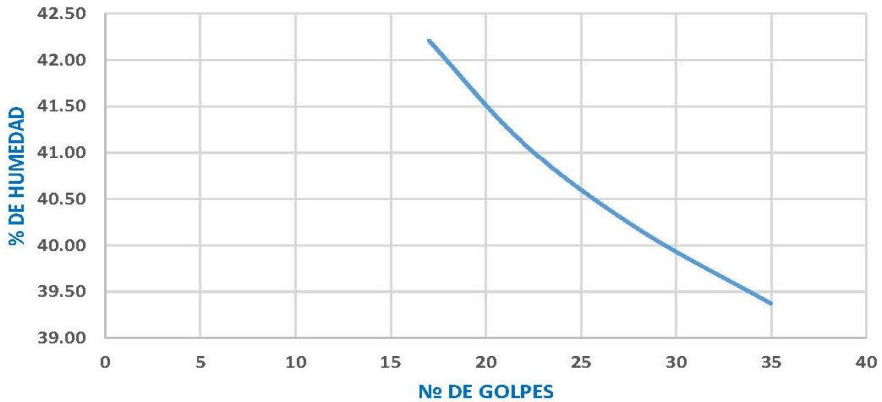
Tabla 6. Datos roseta de fractura.

"ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CARRETERA NN-4 EN EL TRAMO SAN LUCAS-LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ"

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA			
	UNAN - MANAGUA			
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
	CARRERA:	INGENIERIA GEOLOGICA	AÑO: V	CÓDIGO: GEO-M-1
	ENSAYO:	LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO, E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS		
NORMA:	ASTM D 4318; 2000	PROPOSITO:	TESIS DE GRADO	
BANCO:	Comunidad las sabanas, Departamento de Madriz. EST. 234+300			

Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Fecha de ensayo:	Sondeo:	Muestra:
ARENA MAL GRADUADA CON ARCILLA SP-SC	A-2-7 (0)	Miercoles, 05 de Dic. 5:00 pm	1	1

LÍMITE LÍQUIDO		MÉTODO DE PREPARACIÓN DE ESPECIMENES HÚMEDOS			
MÉTODO:		A- LÍMITE LÍQUIDO CON PUNTOS MULTIPLES			
CANTIDAD DE PRUEBAS REQUERIDAS		1	2	3	4
GOLPES REQUERIDOS PARA EL CIERRE		30-35	25-30	20-25	15-20
IDENTIFICACIÓN DEL RECIPIENTE		B	M	D	N
GOLPES EMPLEADOS PARA EL CIERRE		35	28	22	17
MASA DE LA MUESTRA HÚMEDA +TARA (g)		29.48	23.95	25.91	23.28
MASA DE LA MUESTRA SECA +TARA (g)		25.85	21.70	23.14	21.22
MASA DE LA TARA (g)		16.63	16.10	16.40	16.34
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)		9.22	5.60	6.74	4.88
MASA DE AGUA (g)		3.63	2.25	2.77	2.06
CONTENIDOO DE HÚMEDAD (%)		39.37	40.18	41.10	42.21
FACTOR PARA LÍMITE LÍQUIDO					
CONTENIDO DE HÚMEDAD CORREGIDA (g)					




LÍMITE PLÁSTICO	MÉTODO DE ENSAYO: MANUAL		ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
CANTIDAD DE PRUEBAS	1	2	MÉTODO	LÍMITE	VALOR
IDENTIFICACION DEL RECIPIENTE	H	E	MANUAL	LL	41
MASA DE LA MUESTRA HUMEDA +TARA (g)	20.87	21.07	PUNTOS MULTIPLES	LP	28
MASA DE LA MUESTRA SECA + TARA (g)	19.95	20.02		IP	12
MASA DE LA TARA (g)	16.7	16.32		NOTA: SI NO SE PUEDE DETERMINAR LL Ó LP Ó SI EL LP ES MAYOR O IGUAL QUE LL REPORTE EL SUELO COMO NP (NO PLASTICO).	
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	3.25	3.7			
MASA DEL AGUA (g)	0.92	1.05			
CONTENIDO DE HÚMEDAD (%)	28.31	28.38			

Observaciones:

Técnico de laboratorio: Dorwin E. Altamirano Gutiérrez.

Anexo 1.

"ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CARRETERA NN-4 EN EL TRAMO SAN LUCAS-LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ"

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA				
	UNAN - MANAGUA				
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				
	CARRERA:	INGENIERIA GEOLOGICA	AÑO: V	PROPOSITO:	TESIS DE GRADO
	ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS				
ENSAYO:					
NORMA:	AASHTO T 27		CÓDIGO:	GEO-M-2	
BANCO:	Comunidad las sabanas, Departamento de Madriz. EST 233+800				

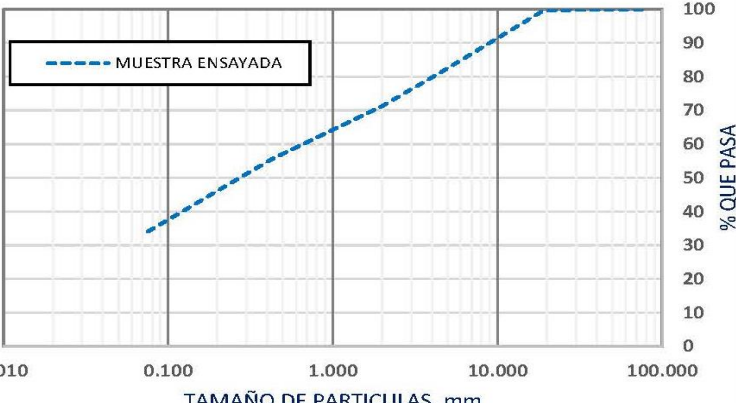
Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Fecha de ensayo:	Sondeo:	Muestra:
ARENA ARCILLOSA SC	A-2-5 (0)	Martes, 04 de Dic. 9:00 am	2	1

Masa de la muestra inicial húmeda (g):	2045.46	Masa inicial seca, corregida (g)	1838.47
Masa de la muestra lavada (g):	1247.11	Masa de tara (g):	331.48
Agregado lavado menor de 0.075 mm (g):	591.36	Masa húmeda + tara (g):	676.36
Agregado tamizado menor de 0.075 mm (g):	33.35	masa seca + tara (g):	641.46
Masa total, menor de 0.075 mm (g):	624.71	% de humedad:	11.26

Tamiz Estandar	Abertura Estandar (mm)	Masa Retenida (g)	Masa Retenida (%)	Masa Ret. Acumulada (%)	Material que pasa (%)	ESPECIFICACIONES	
						ESP. MÍN.	ESP. MÁX.
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100		
3/4"	19.000	6.10	0.33	0.33	100		
Nº 4	4.750	326.41	17.75	18.09	82		
Nº 10	2.000	195.08	10.61	28.70	71		
Nº 40	0.425	291.18	15.84	44.54	55		
Nº 200	0.075	394.99	21.48	66.02	34		
FONDO		33.35	33.98	100.00	0	OK	

PARÁMETROS DE GRADUACIÓN	
TAMAÑO MÁXIMO:	50.000
GRADUACIÓN:	No Evaluar Graduación
D(10)	0.00 mm
D(30)	0.00 mm
D(60)	0.00 mm
Cu = D60/D10	0.00
Cc = (D30)² / D60 x D10	0.00


CURVA GRANULOMETRICA



Observaciones:	
Técnico de laboratorio:	Dorwin E. Altamirano Gutiérrez.

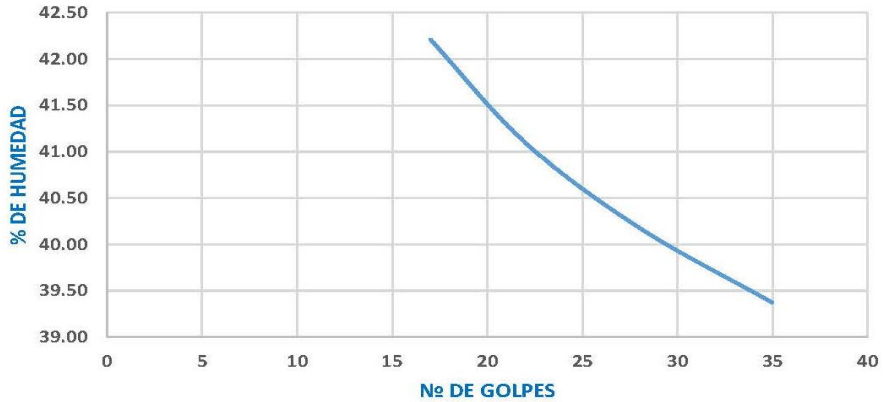
Anexo 2.

"ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CARRETERA NN-4 EN EL TRAMO SAN LUCAS-LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ"

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA				
	UNAN - MANAGUA				
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				
	CARRERA:	INGENIERIA GEOLOGICA	AÑO: V	CÓDIGO:	GEO-M-1
	ENSAYO:	LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLASTICO, E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS			
NORMA:	ASTM D 4318; 2000	PROPOSITO:	TESIS DE GRADO		
BANCO:	Comunidad las sabanas, Departamento de Madriz. EST. 234+300				

Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Fecha de ensayo:	Sondeo:	Muestra:
ARENA MAL GRADUADA CON ARCILLA SP-SC	A-2-7 (0)	Miercoles, 05 de Dic. 5:00 pm	1	1

LÍMITE LÍQUIDO		MÉTODO DE PREPARACIÓN DE ESPECIMENES HÚMEDOS			
MÉTODO:		A- LÍMITE LÍQUIDO CON PUNTOS MÚLTIPLES			
CANTIDAD DE PRUEBAS REQUERIDAS	1	2	3	4	
GOLPES REQUERIDOS PARA EL CIERRE	30-35	25-30	20-25	15-20	
IDENTIFICACIÓN DEL RECIPIENTE	B	M	D	N	
GOLPES EMPLEADOS PARA EL CIERRE	35	28	22	17	
MASA DE LA MUESTRA HÚMEDA +TARA (g)	29.48	23.95	25.91	23.28	
MASA DE LA MUESTRA SECA +TARA (g)	25.85	21.70	23.14	21.22	
MASA DE LA TARA (g)	16.63	16.10	16.40	16.34	
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	9.22	5.60	6.74	4.88	
MASA DE AGUA (g)	3.63	2.25	2.77	2.06	
CONTENIDOO DE HÚMEDAD (%)	39.37	40.18	41.10	42.21	
FACTOR PARA LÍMITE LÍQUIDO					
CONTENIDO DE HÚMEDAD CORREGIDA (g)					




LÍMITE PLÁSTICO		MÉTODO DE ENSAYO: MANUAL		ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
CANTIDAD DE PRUEBAS	1	2		MÉTODO	LÍMITE	VALOR
IDENTIFICACION DEL RECIPIENTE	H	E		MANUAL	LL	41
MASA DE LA MUESTRA HUMEDA +TARA (g)	20.87	21.07		PUNTOS MÚLTIPLES	LP	28
MASA DE LA MUESTRA SECA + TARA (g)	19.95	20.02			IP	12
MASA DE LA TARA (g)	16.7	16.32		NOTA: SI NO SE PUEDE DETERMINAR LL Ó LP Ó SI EL LP ES MAYOR O IGUAL QUE LL REPORTE EL SUELO COMO NP (NO PLASTICO).		
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	3.25	3.7				
MASA DEL AGUA (g)	0.92	1.05				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	28.31	28.38				

Observaciones:
<i>Técnico de laboratorio: Dorwin E. Altamirano Gutiérrez.</i>

Anexo 3.

"ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CARRETERA NN-4 EN EL TRAMO SAN LUCAS-LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ"

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA			
	UNAN - MANAGUA			
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
	CARRERA:	INGENIERIA GEOLOGICA	AÑO: V	PROPOSITO:
	ENSAYO:	GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS		
NORMA:	AASHTO T 85	CÓDIGO:	GEO-M-1	
BANCO:	Comunidad las sabanas, Departamento de Madriz. EST. 234+300			

Clasificacion SUCS	Clasificación AASHTO	Fecha de ensayo:	Sondeo:	Muestra:
ROCA	ROCA	Lunes, 10 de Dic. 10:00 am	1	1

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS					
AASHTO T 85					

Pasa el tamiz:	ECUACIONES	ENSAYOS			
Retenido en el tamiz:		1	2	3	PROMEDIO
Masa de muestra seca (g)	A			3232.00	
Masa de muestra saturada superficialmente seca (g)	B			3415.00	
Masa de muestra sumergida a 23°C (g)	C			1878.00	
Gravedad específica Bruta	D= A/(B-C)			2.103	2.103
Gravedad específica Aparente	E= A/(A-C)			2.387	2.387
Absorción de agua (%)	F= ((B-A)/A)*100			5.662	5.662


GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS FINOS					
AASHTO T 84					

Pasa el tamiz:	ECUACIONES	ENSAYOS			
Retenido en el tamiz:		1	2	3	PROMEDIO
Masa de muestra seca (g)	A				
Masa de muestra saturada superficialmente seca (g)	B				
Masa de muestra sumergida a 23°C (g)	C				
Gravedad específica Bruta	D= A/(B-C)				
Gravedad específica Aparente	E= A/(A-C)				
Absorción de agua (%)	F= ((B-A)/A)*100				

Observaciones: Material procedente del banco GEO-M-1, clasificado directamente como ROCA puesto que posee diametro mayor a 3", limite permisible para poder clasificar mediante la AASHTO M 145 y la ASTM D 2487.	
Técnico de laboratorio:	Dorwin E. Altamirano Gutiérrez.

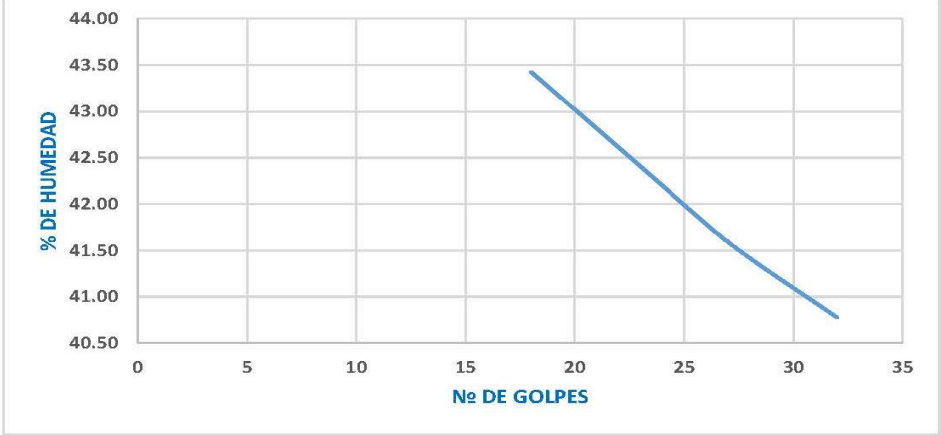
Anexo 4.

"ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CARRETERA NN-4 EN EL TRAMO SAN LUCAS-LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ"

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA				
	UNAN - MANAGUA				
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				
	CARRERA:	INGENIERIA GEOLOGICA	AÑO: V	CÓDIGO:	GEO-M-2
	ENSAYO:	LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO, E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS			
NORMA:	ASTM D 4318; 2000	PROPOSITO:	TESIS DE GRADO		
BANCO:	Comunidad las sabanas, Departamento de Madriz. EST 233+800				

Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Fecha de ensayo:	Sondeo:	Muestra:
ARENA ARCILLOSA SC	A-2-5 (0)	Lunes, 10 de Dic. 12:40 pm	2	1

LÍMITE LÍQUIDO	MÉTODO DE PREPARACIÓN DE ESPECIMENES HÚMEDOS			
MÉTODO:	A- LÍMITE LÍQUIDO CON PUNTOS MÚLTIPLES			
CANTIDAD DE PRUEBAS REQUERIDAS	1	2	3	4
GOLPES REQUERIDOS PARA EL CIERRE	30-35	25-30	20-25	15-20
IDENTIFICACIÓN DEL RECIPIENTE	A	I	K	O
GOLPES EMPLEADOS PARA EL CIERRE	32	27	23	18
MASA DE LA MUESTRA HÚMEDA +TARA (g)	29.48	22.91	24.83	24.91
MASA DE LA MUESTRA SECA +TARA (g)	25.59	21.03	22.12	22.40
MASA DE LA TARA (g)	16.05	16.51	15.73	16.62
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	9.54	4.52	6.39	5.78
MASA DE AGUA (g)	3.89	1.88	2.71	2.51
CONTENIDOO DE HÚMEDAD (%)	40.78	41.59	42.41	43.43
FACTOR PARA LÍMITE LÍQUIDO				
CONTENIDO DE HÚMEDAD CORREGIDA (g)				




LÍMITE PLÁSTICO	MÉTODO DE ENSAYO: MANUAL		ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
CANTIDAD DE PRUEBAS	1	2	MÉTODO	LÍMITE	VALOR
IDENTIFICACION DEL RECIPIENTE	G	Q	MANUAL	LL	42
MASA DE LA MUESTRA HUMEDA +TARA (g)	19.62	20.10	PUNTOS MÚLTIPLES	LP	34
MASA DE LA MUESTRA SECA + TARA (g)	18.78	19.26		IP	8
MASA DE LA TARA (g)	16.35	16.82		NOTA: SI NO SE PUEDE DETERMINAR LL Ó LP Ó SI EL LP ES MAYOR O IGUAL QUE LL REPORTE EL SUELO COMO NP (NO PLASTICO).	
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	2.43	2.44			
MASA DEL AGUA (g)	0.84	0.84			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	34.57	34.43			

Observaciones:
Técnico de laboratorio: Dorwin E. Altamirano Gutiérrez.

Anexo 5.

"ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CARRETERA NN-4 EN EL TRAMO SAN LUCAS-LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ"

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA			
	UNAN - MANAGUA			
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
	CARRERA:	INGENIERIA GEOLOGICA	AÑO: V	PROPOSITO: TESIS DE GRADO
	ENSAYO: GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS			
NORMA:	AASHTO T 100	CÓDIGO:	GEO-M-2	
BANCO:	Comunidad las sabanas, Departamento de Madriz. EST 233+800			

Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Fecha de ensayo:	Sondeo:	Muestra:
ARENA ARCILLOSA SC	A-2-5 (0)	Lunes, 10 de Dic. 4:40 pm	2	1

TIPO DE SUELO	MASA DE MUESTRA SECA CUANDO LA CAPACIDAD DEL RECIPIENTE SEA DE:		SECAR LA MUESTRA COMO MINIMO 12 HORAS EN UN HORNO A UNA TEMPERATURA DE 110 ± 5 °C
	250 ml	500 ml	
A-1, A-3	60 ± 10	100 ± 10	
A-2	45 ± 10	75 ± 10	
A-4, A-5, A-6, A-7	35 ± 5	50 ± 10	

Pasa el tamiz: Nº 4	ECUACIONES	ENSAYOS			PROMEDIO
Retenido en el tamiz:		1	2	3	
Masa de muestra seca (g)	A = C - D	49.32	47.50	50.52	
Masa de picnómetro, muestra de suelo y agua (g)	B	604.70	603.71	605.35	
Masa de picnómetro y muestra de suelo (g)	C	300.04	298.22	301.24	
Masa de picnómetro (g)	D	250.72	250.72	250.72	
Masa de picnómetro y agua (g)	E	577.57	577.57	577.57	
Volumen (cm³)	F = A + (E - B)	22.19	21.36	22.74	
GRAVEDAD ESPECIFICA	G = A / F	2.223	2.224	2.222	2.223

DIFERENCIA ACEPTADA ENTRE DOS RESULTADOS PARA SUELOS NO COHESIVOS (PRECISION DE UN OPERADOR): 0.05

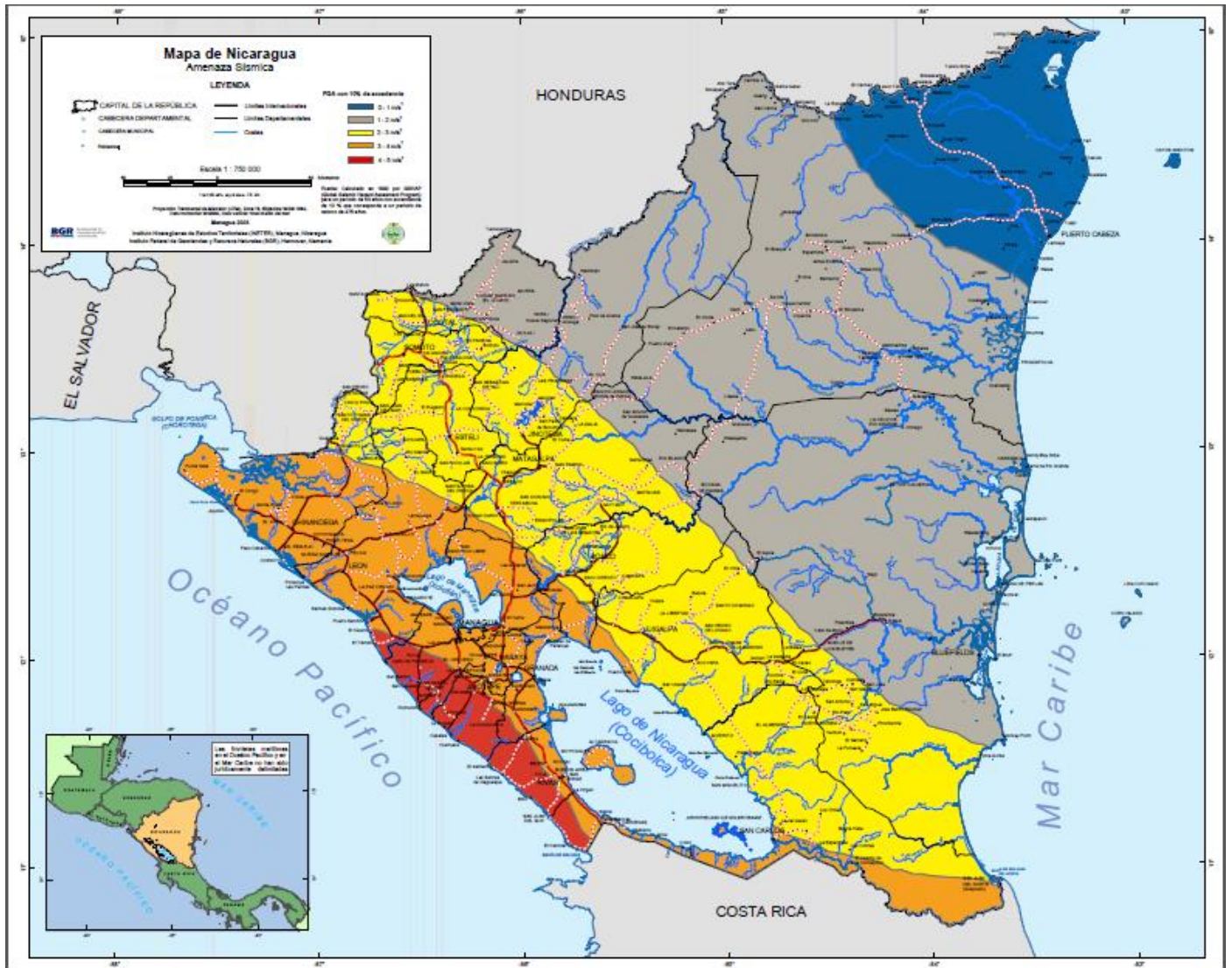
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS AASHTO T 27

TAMIZ ESTANDAR	ABERTURA ESTANDAR (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (%)	Masa ret. acumulada. (%)	Material que pasa (%)	ESPECIFICACIONES	
						ESP. MÍN.	ESP. MÁX.
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100		
3/4"	19.000	6.10	0.33	0.33	100		
Nº 4	4.750	326.41	17.75	18.09	82		
Nº 10	2.000	195.08	10.61	28.70	71		
Nº 40	0.425	291.18	15.84	44.54	55		
Nº 200	0.075	394.99	21.48	66.02	34		
FONDO		33.35	33.98	100.00	0	OK	

> SI EL ENSAYO ES REQUERIDO PARA AASHTO T 88. CRIBAR A TRAVÉS TAMIZ Nº10 (2 mm)

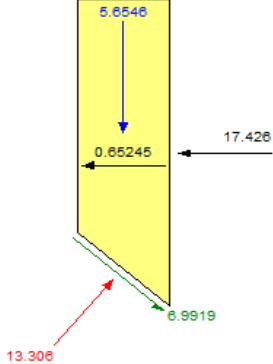
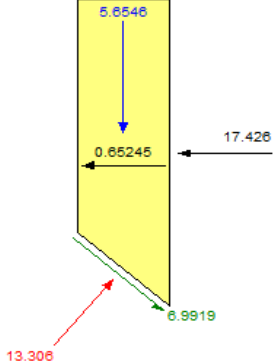
Observaciones: <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <i>Técnico de laboratorio:</i> <i>Dorwin E. Altamirano Gutiérrez.</i> </div>
--

Anexo 6.



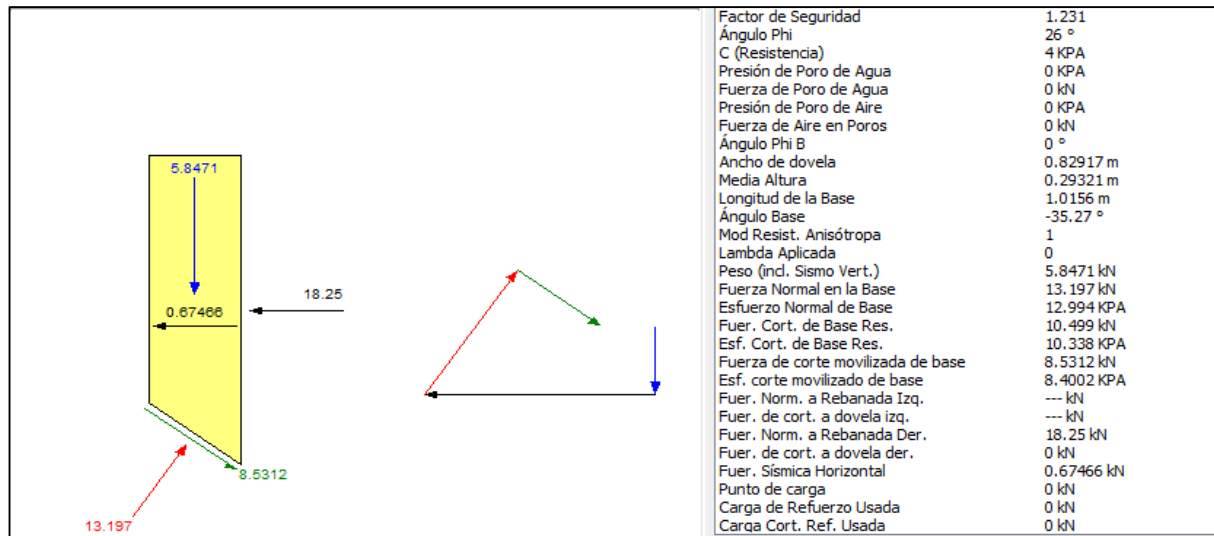
Anexo 7. Mapa de amenaza sísmica de Nicaragua.

Información de dovelas por medio de Bishop

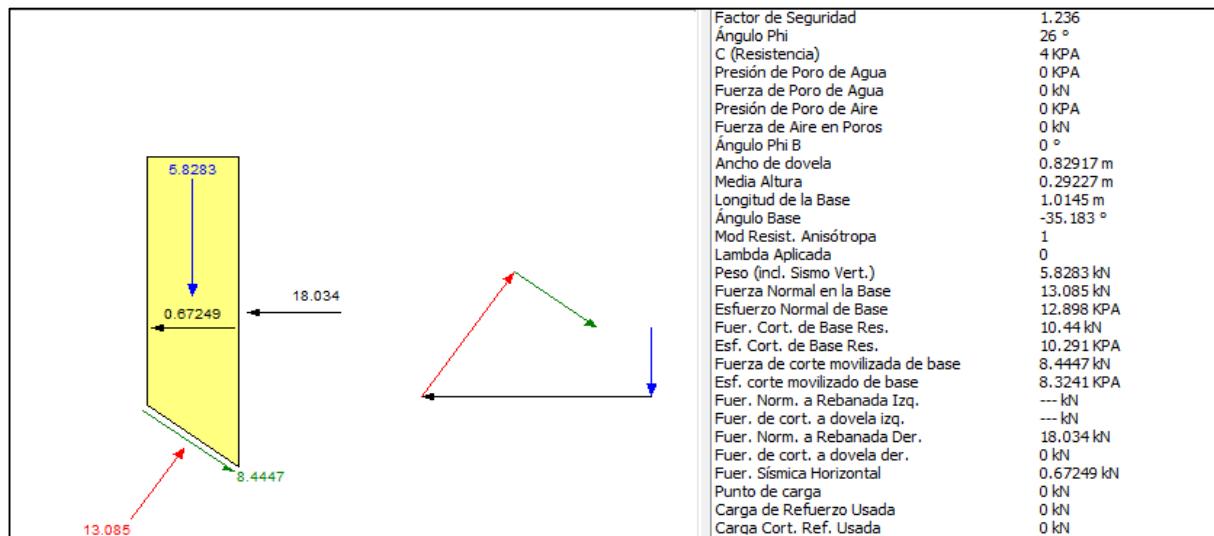
	Factor de Seguridad	1.492
	Ángulo Phi	26 °
	C (Resistencia)	4 KPA
	Presión de Base de Agua	0 KPA
	Factor de Seguridad	1.487
	Ángulo Phi	26 °
	C (Resistencia)	4 KPA
	Presión de Poro de Agua	0 KPA
	Fuerza de Poro de Agua	0 kN
	Presión de Poro de Aire	0 KPA
	Fuerza de Aire en Poros	0 kN
	Ángulo Phi B	0 °
	Ancho de dovela	0.7462 m
	Media Altura	0.31508 m
	Longitud de la Base	0.9767 m
	Ángulo Base	-40.181 °
	Mod Resist. Anisótropa	1
	Lambda Aplicada	0
	Peso (incl. Sismo Vert.)	5.6546 kN
	Fuerza Normal en la Base	13.306 kN
	Esfuerzo Normal de Base	13.624 KPA
	Fuer. Cort. de Base Res.	10.397 kN
	Esf. Cort. de Base Res.	10.645 KPA
	Fuerza de corte movilizada de base	6.9919 kN
	Esf. corte movilizado de base	7.1587 KPA
	Fuer. Norm. a Rebanada Izq.	--- kN
	Fuer. de cort. a dovela izq.	--- kN
	Fuer. Norm. a Rebanada Der.	17.426 kN
	Fuer. de cort. a dovela der.	0 kN
	Fuer. Sísmica Horizontal	0.65245 kN
	Punto de carga	0 kN
	Carga de Refuerzo Usada	0 kN
	Carga Cort. Ref. Usada	0 kN

Dovela del punto 1.

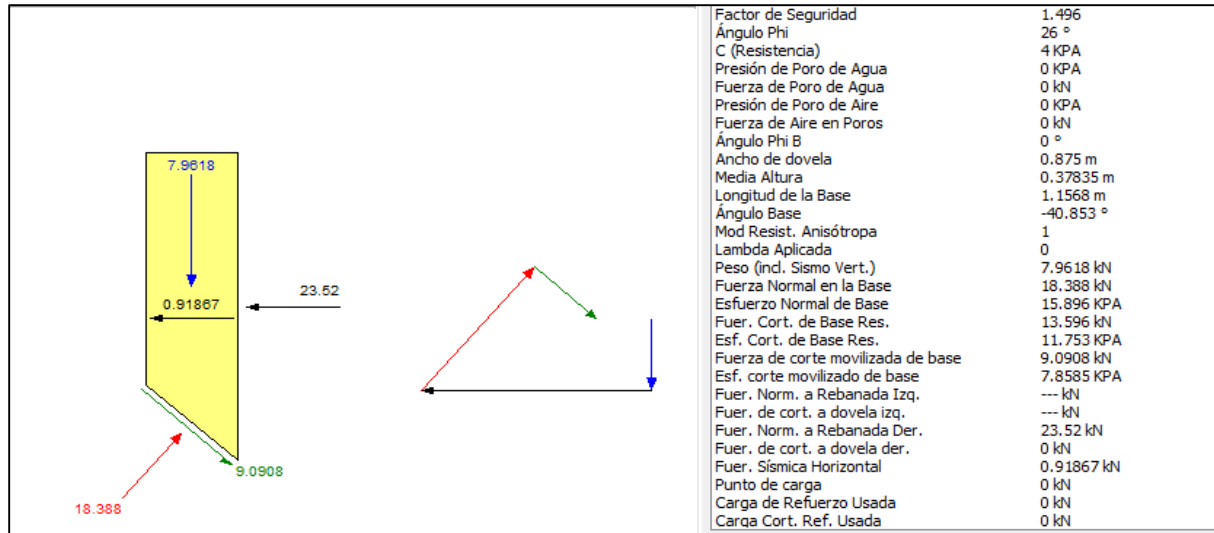
Dovela del punto 2.



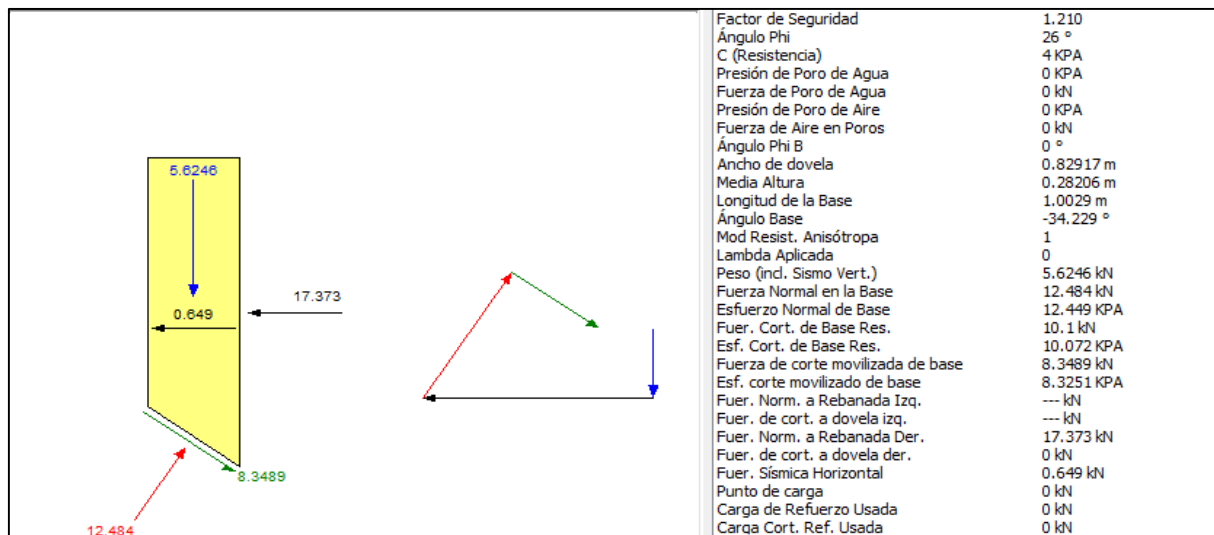
Dovela del punto 3.



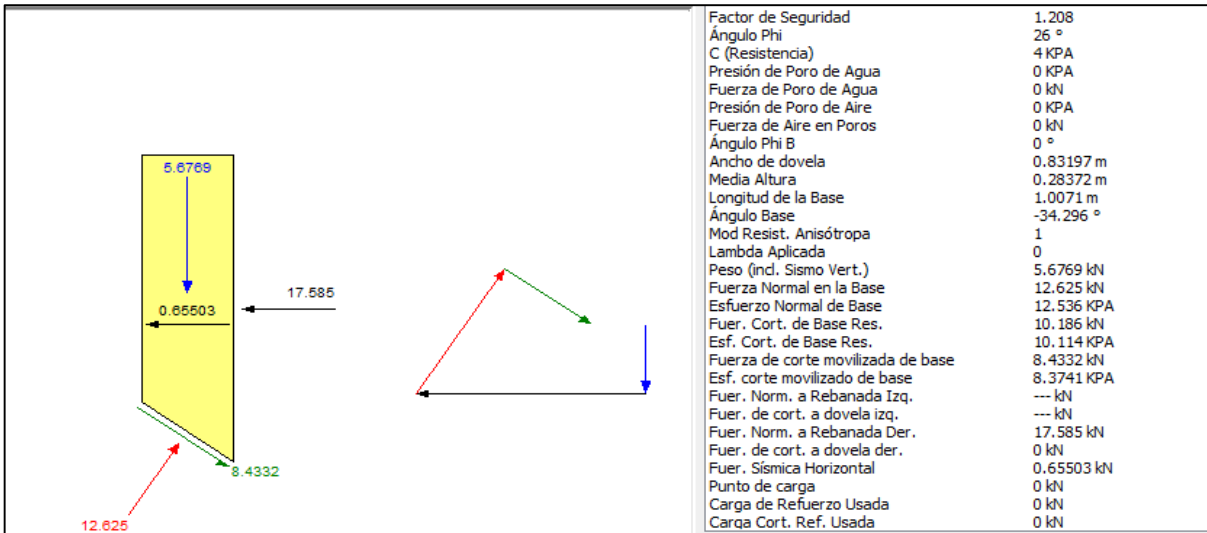
Dovela del punto 4



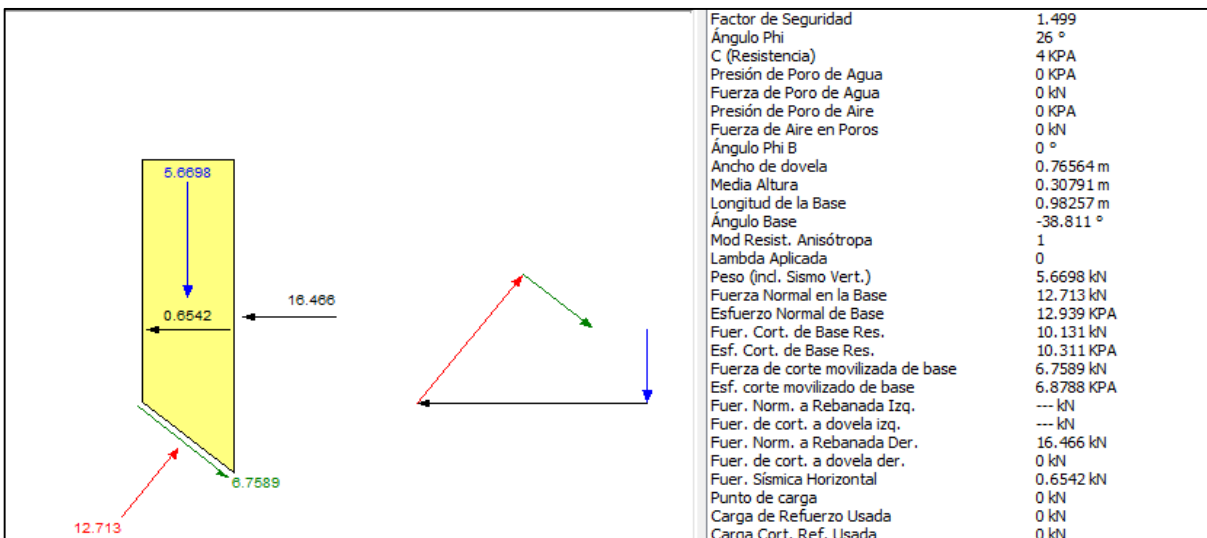
Dovela del punto 5.



Dovela del punto 6.



Dovela del punto 7.



Dovela del punto 8.

